

INAIL
Quaderni di ricerca

Nuovi strumenti per la valutazione dello scivolamento e ribaltamento delle scale portatili

Luigi Cortis, Francesca Maria Fabiani, Luca Rossi,
Davide Geoffrey Svampa

numero **5** – marzo 2015

I *Quaderni di ricerca* dell'Inail sono lo strumento a disposizione dei ricercatori e dei ruoli professionali dell'Istituto per rendere pubblici i risultati più rilevanti delle loro attività; accolgono anche contributi di ricercatori esterni, che partecipano ai progetti dell'Inail.

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nei *Quaderni*, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell'Inail.

I *Quaderni* sono disponibili online all'indirizzo www.inail.it.

Comitato di redazione: Paolo Bragatto, Massimo De Felice,
Benedetta Persechino, Patrizio Rossi

Segreteria di redazione: Toni Saracino

INAIL - Piazzale Giulio Pastore, 6 | 00144 Roma

ISBN 978-88-7484-441-8

Stampato presso la Tipografia INAIL – Milano, aprile 2015

Nuovi strumenti per la valutazione dello scivolamento e ribaltamento delle scale portatili

Luigi Cortis, Francesca Maria Fabiani, Luca Rossi, Davide Geoffrey Svampa

Sommario – Le scale portatili sono attrezzature largamente diffuse e usate in ambiente di lavoro e in ambiente di vita. Vengono impiegate da milioni di persone e comportano rischi elevati di incidenti, come riportato da numerosi Osservatori.

Le tipologie di incidenti riguardano principalmente la stabilità nell'uso e la resistenza strutturale nei riguardi del comportamento alle sollecitazioni cicliche.

Tali caratteristiche non sono verificate con idonee prove dalla normativa di prodotto europea vigente, in quanto parzialmente e indirettamente valutate con considerazioni geometriche per quanto concerne la stabilità, e con prove di carattere esclusivamente statico per la resistenza strutturale.

L'attuale norma di prodotto EN 131, parte seconda, del giugno 2010, elaborata in 12 anni circa, non ha condotto alla introduzione di prove specifiche per la valutazione di tali caratteristiche, sebbene da parte di alcuni stati membri ne sia stata sentita l'esigenza, anche attraverso la presentazione di esperienze sperimentali nazionali (Italia, Regno Unito, Olanda, Belgio). Il mancato accordo tecnico è dovuto, oltre che alle resistenze di carattere commerciale, anche alla mancata introduzione di idonei requisiti condivisi tra le parti e da tipologie di prove spesso non confrontabili fra loro.

Il Comitato Tecnico TC 93, tenutosi a Berlino il 23 e 24 aprile 2009, ha impostato nuove strategie condivise per la revisione della norma che tengono conto della stabilità e della durabilità della scala e ha costituito un nuovo gruppo di lavoro, il WG 10. Il compito è di stabilire un programma di lavoro per esaminare i requisiti di stabilità e di durabilità nonché una possibile classificazione delle scale portatili che tenga conto di quest'ultimo requisito. Il WG 10 ha istituito due gruppi di lavoro *ad hoc*, composti ognuno da cinque esperti, per procedere con ulteriori approfondimenti riguardo la stabilità e le prestazioni in relazione alla durabilità valutata con test ciclici.

Al fine di ridurre al minimo il rischio di incidente, in virtù della evoluzione dei requisiti prestazionali del prodotto, in relazione al progresso tecnologico e al livello di sicurezza che i consumatori possono ragionevolmente aspettarsi, è fondamentale che le scale portatili vengano fabbricate con un livello intrinseco di sicurezza maggiore.

L'individuazione delle misure progettuali e di sperimentazione per ridurre al minimo i rischi connessi con le attività effettuate con le scale portatili coinvolge quindi direttamente l'attività di ricerca sulle caratteristiche di resistenza e di stabilità delle stesse.

Gli autori svolgono la propria attività presso l'Inail nel Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici. Si ringraziano Carlo Ratti e Calogero Vitale per la collaborazione. Questo *Quaderno* fa riferimento ai risultati relativi alla linea di ricerca L18 *L'innovazione di prodotto nelle scale portatili. Requisiti e caratteristiche proprie da determinare mediante prove sperimentali* (Responsabile Luigi Cortis) inserita nel programma di ricerca P03 DTS *La sicurezza nel settore delle costruzioni* (Responsabile Luigi Cortis) del Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici dell'Inail.

Indice degli argomenti

Premessa	7
1 Generalità	10
1.1 Tipologia di scale portatili in esame	10
1.2 Definizioni	10
1.3 Caratteristiche geometriche e funzionali	10
1.4 Riferimenti	10
2 Stabilità	13
2.1 Attrito	13
2.2 Scala in appoggio	17
2.2.1 Stabilità allo slittamento alla base	17
2.2.1.1 Stabilità di un corpo appoggiato	18
2.2.1.2 Grafica dell'equilibrio allo slittamento alla base	20
2.2.1.3 Considerazioni analitiche sulla stabilità allo slittamento alla base	26
2.2.2 Stabilità allo slittamento laterale in sommità	34
2.2.3 Stabilità alla rotazione intorno a un montante	35
2.2.4 Stabilità al rovesciamento all'indietro	36
2.3 Scala doppia	37
2.3.1 Stabilità laterale al ribaltamento	37
3 Durabilità	38
4 Prove di stabilità	39
4.1 Prove di stabilità allo slittamento alla base di una scala in appoggio	39
4.1.1 Prove di prima indagine per stabilire idonei fattori di riferimento e condizioni di prova	42
4.2.2 Prove di seconda indagine	48
4.2.3 Scelta della superficie di prova	56
4.2.4 Prove condotte in accordo alla procedura del paragrafo 4.2.2	56
4.3 Prove con altre tipologie di instabilità	61
5 Prove di durabilità	62
5.1 Generalità	62
5.2 Requisiti e procedura di prova di durabilità della scala doppia	63
5.3 Risultati prova di durabilità	65
5.3.1 Scala doppia	65
5.3.1.1 Conclusioni sulla scala doppia	72
5.3.2 Requisiti e procedura di prova di durabilità della scala in appoggio	72
6 Conclusioni	73
Bibliografia	75

Premessa – Il sistema europeo di sorveglianza degli incidenti della Commissione Europea, DG SANCO (disponibile ad accesso pubblico presso il database <https://webgate.ec.europa.eu/idb/>) fornisce informazioni dettagliate sugli stessi. Per quanto riguarda le scale portatili, il sistema rileva che, nell'arco temporale 2002-2007, su circa 41.200.000 incidenti approssimativamente 413.000 hanno coinvolto tale prodotto.

Per approfondire alcuni aspetti vengono riportati nelle tabelle seguenti alcuni dati relativi agli incidenti, tratti dal data base citato, che mostrano il fenomeno infortunistico in relazione al sesso, all'età, al tipo di lesione, alla parte del corpo interessata, al tipo di attività, al meccanismo e al luogo dell'incidente.

Sesso	Età in anni	Percentuale
Maschi	0 - 14	2%
	15 - 59	50%
	60 e oltre	25%
Percentuale parziale		78%
Femmine	0 - 14	1%
	15 - 59	11%
	60 e oltre	10%
Percentuale parziale		22%
Totale		100%

Tabella 1 - Raggruppamento per età e sesso

Luogo di incidente	Percentuale
Casa	66%
Industria o costruzioni	11%
Posto non specificato	10%
Altro	13%
Totale	100%

Tabella 2 - Raggruppamento per luogo di incidente

Tipo di attività	Percentuale
Lavoro gratuito	44%
Tempo libero o gioco	19%
Lavoro retribuito	17%
Attività non specificata	9%
Altra attività specificata	6%
Altro	5%
Totale	100%

Tabella 3 - Raggruppamento per tipo di attività

Meccanismo di incidente	Percentuale
Caduta/inciampo/salto/spostamento (da un'altezza di 1 m o maggiore)	66%
Caduta /inciampo/salto/spostamento (da un'altezza minore di 1 m)	9%
Altre cadute /inciampo/salto/spostamento (allo stesso livello)	6%
Caduta /inciampo/salto/spostamento (da un'altezza non specificata)	5%
Caduta /inciampo/salto/spostamento (non specificata)	5%
Caduta /inciampo/salto/spostamento (su gradini)	2%
Altro	7%
Totale	100%

Tabella 4 - Raggruppamento per meccanismo di incidente

Parte del corpo	Percentuale
Estremità inferiori	32%
Estremità superiori	28%
Tronco	24%
Testa	13%
Altro	3%
Totale	100%

Tabella 5 - Raggruppamento per parti del corpo lesionate

Tipo di lesione	Percentuale
Frattura	56%
Contusione	16%
Distorsione	7%
Ferita aperta	5%
Commozione cerebrale	5%
Lesione al muscolo e al tendine	3%
Lussazione	2%
Altro	6%
Totale	100%

Tabella 6 - Raggruppamento per tipo di tipo di lesione

Dai dati rappresentati emerge che vengono coinvolti in percentuale maggiore i maschi; essendo poi l'età lavorativa un dato importante per entrambi i sessi esso comporta, in aggiunta al danno fisico, anche un notevole danno economico per le giornate lavorative perse.

La casa è il luogo con maggiore frequenza di accadimento di incidente e viene confermato che, laddove esiste una maggiore professionalità unita a una formazione e un adeguato controllo, come sui luoghi di lavoro, il numero di incidenti diminuisce. Ulteriore conferma di ciò è il fatto che un gran numero di incidenti avviene durante le attività legate al tempo libero e al lavoro gratuito rispetto al lavoro retribuito che si suppone essere eseguito da persona professionalmente preparata e formata che utilizza la scala con caratteristiche migliori, scelta in base alla tipologia più idonea al tipo di attività da eseguire.

È importante notare che gli infortuni avvengono principalmente per cadute da scale da altezze superiori a un metro e che la maggior parte delle lesioni interessa gli arti inferiori e superiori, dove la frattura e la contusione sono quelle di maggiore frequenza. Tuttavia anche da altezze relativamente basse si ottengono lesioni di consistente gravità.

Si segnala inoltre che, già alla fine degli anni '90, la Commissione europea, nel suo mandato al CEN per il miglioramento della norma di prodotto sulle scale portatili in relazione alla sicurezza nei confronti dei consumatori, evidenziava dati analoghi a quelli rappresentati.

Lo studio della Commissione concludeva che la sicurezza delle scale portatili doveva essere realizzata considerando sia il criterio dell'uso corretto che quello "ragionevolmente prevedibile non corretto", tenendo conto dell'età e della professionalità dell'utente anche in rapporto alle attività da effettuare e alle condizioni operative ambientali.

La stessa Commissione poi, nello specifico, riassume le correlazioni tra le cause e gli incidenti, evidenziando soprattutto problemi di instabilità al ribaltamento per le scale doppie, e slittamento laterale in sommità e slittamento alla base per le scale in appoggio. Le investigazioni dimostravano inoltre che il 20% degli incidenti era dovuto a difetti delle scale, mentre il rimanente 80% imputabile all'uso non corretto. Rilevava, inoltre, che circa un terzo degli incidenti avveniva sui luoghi di lavoro.

Negli ultimi 20 anni il quadro cause/incidenti è immutato e il nuovo input della Commissione richiama ancora il miglioramento delle caratteristiche delle scale in relazione alla loro stabilità e durabilità (sia funzionale che di resistenza alla fatica).

La norma EN 131-2 del 2010, relativa ai requisiti delle scale portatili, dovrà quindi essere ancora migliorata nel più breve tempo possibile con l'introduzione di requisiti e di prove concernenti i fattori di rischio citati (stabilità e durabilità).

Il presente quaderno fa riferimento al report "Le scale portatili. Requisiti di stabilità e durabilità da determinare mediante prove sperimentali" (L. Cortis, F. M. Fabiani, L. Rossi, D. G. Svampa, Roma, Inail, 2015), pubblicato sul sito dell'Inail.

1. Generalità

1.1 Tipologia di scale portatili in esame

Le scale portatili presenti sul mercato sono molteplici e riconducibili principalmente a scale in appoggio e scale doppie.

I materiali di cui sono costituite principalmente sono le leghe di alluminio, l'acciaio, il legno e la vetroresina. Nell'attività di ricerca, dovendo contenere il numero di prove per il materiale, la scelta è caduta sull'alluminio e sull'acciaio, largamente impiegati nell'industria.

Per quanto concerne le altezze delle scale, esse sono state scelte tra quelle di uso più comune: 2 m circa per le scale doppie in posizione chiusa, 5 m circa per le scale in appoggio e 8 m circa per le scale trasformabili a sfilo.

La tipologia di scale da sottoporre a prova potrà essere:

- doppia a gradini con piattaforma;
- semplice in appoggio;
- a più tronchi trasformabile a sfilo.

1.2 Definizioni

Scala: dispositivo con gradini o pioli sui quali una persona può salire o scendere.

Scala portatile: scala che può essere trasportata e installata a mano.

Scala a pioli: scala portatile a pioli aventi una superficie di appoggio del piede la cui larghezza dal lato anteriore al lato posteriore è minore di 80 mm e comunque superiore o uguale a 20 mm.

Scala a gradini: scala portatile a gradini che sono in posizione orizzontale durante l'uso e la cui superficie di appoggio del piede ha una larghezza dal lato anteriore al lato posteriore uguale o maggiore di 80 mm.

1.3 Caratteristiche geometriche e funzionali

Le caratteristiche geometriche e funzionali delle scale portatili sono riportate nella norma UNI EN 131-1 e UNI EN 131-2.

1.4 Riferimenti

Nel presente documento valgono i seguenti riferimenti cartesiani.

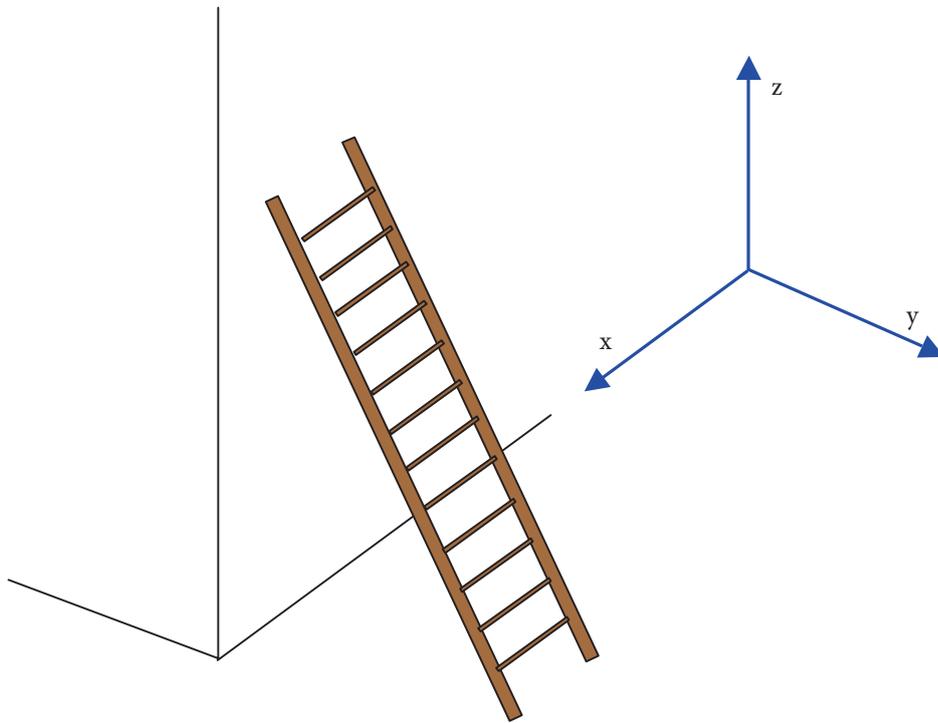
Scala in appoggio

Figura 1.4-1 Sistema di riferimento cartesiano per scala in appoggio

Scala doppia

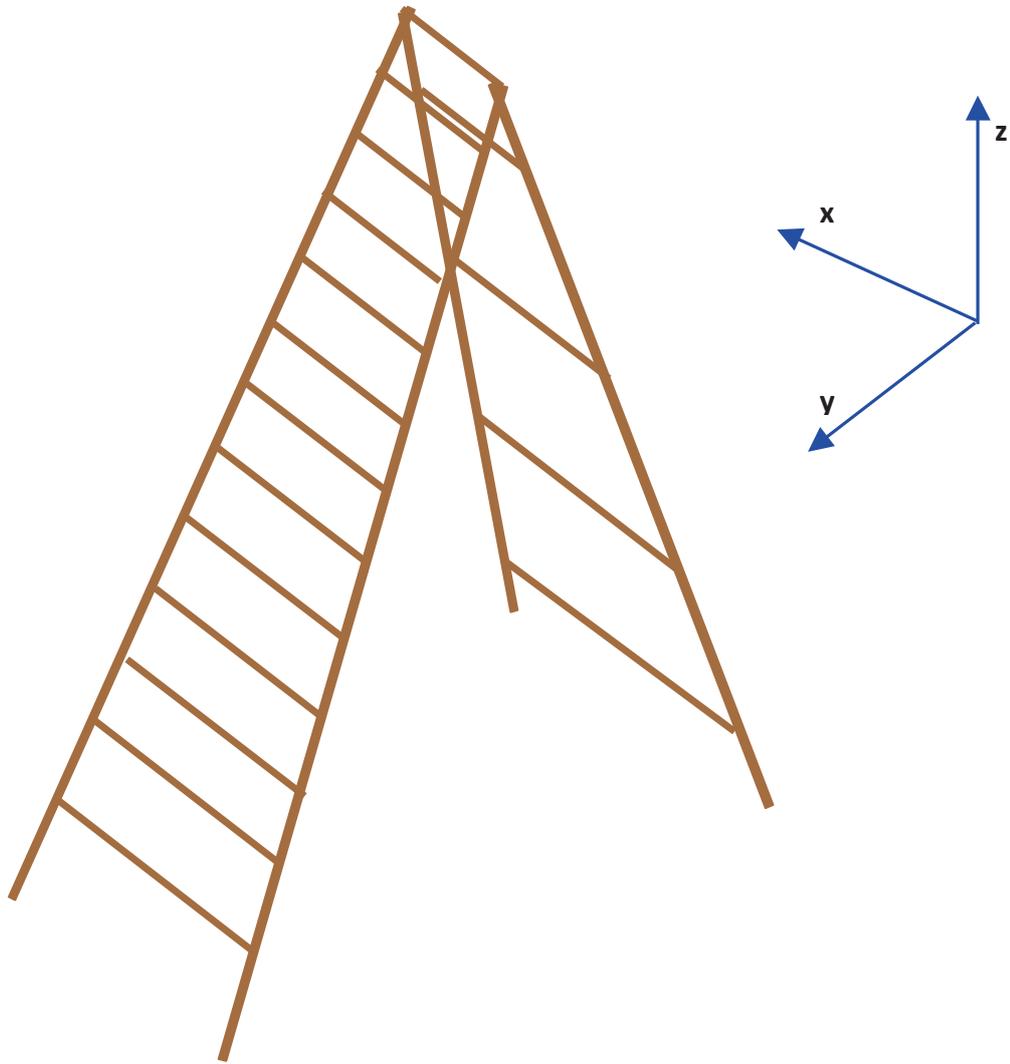


Figura 1.4-2 Sistema di riferimento cartesiano per scala doppia

2. Stabilità

Per stabilità di una scala si intende la capacità intrinseca della stessa a opporsi alle azioni che determinano il suo allontanamento dalla corretta posizione di uso.

I fattori principali che contribuiscono alla stabilità di una scala sono due:

- l'attrito tra la base dei montanti e la superficie di appoggio,
- la sua geometria in relazione alle forze applicate.

2.1 Attrito

Richiami sull'attrito tra due corpi

Quando due corpi sono a contatto, a seguito di un tentativo di movimento reciproco, si manifesta fra loro una resistenza, chiamata forza di attrito, che si oppone al moto dell'uno sull'altro (figura 2.1-1).

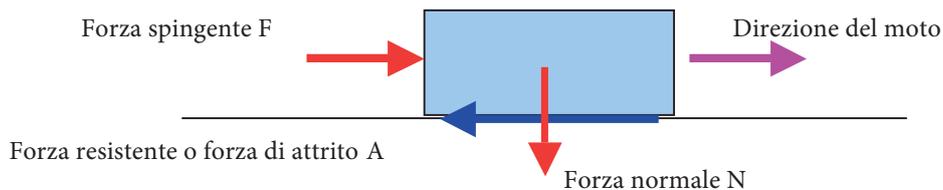


Figura 2.1-1 Schematizzazione della manifestazione della resistenza di attrito

La forza di attrito A , relativa al moto di due oggetti solidi, in prima approssimazione è proporzionale, tramite un coefficiente di proporzionalità chiamato coefficiente di attrito e indicato con μ , alla forza normale N con cui vengono premuti l'uno contro l'altro il cui modulo viene calcolato tramite la seguente relazione:

$$A = \mu N \quad (2.1-1)$$

Essa, a prima vista, è indipendente dalle dimensioni del corpo in esame, o più precisamente è indipendente dalla sua superficie apparente di contatto.

I fattori che causano l'attrito sono:

- la ruvidezza delle superfici a contatto;
- i fenomeni di adesione tra le molecole delle due superfici a contatto;
- i materiali di cui sono costituite le due superfici.

Inoltre, quando le superfici a contatto sono ricoperte da film di ossido, vapor d'acqua, gas adsorbiti o altre impurità, l'attrito è significativamente dipendente da questi.

Le forze di attrito possono essere considerate di tre tipi:

- attrito statico o radente che si manifesta all'inizio del movimento;
- attrito dinamico che si manifesta durante il moto di strisciamento;
- attrito volvente che si manifesta durante il moto di rotolamento.

Nei tre casi citati, per il calcolo della relativa forza di attrito si individuano tre relazioni specifiche:

- attrito statico

$$A = \mu_s N \quad (2.1-2)$$

con μ_s = coefficiente di attrito statico;

- attrito dinamico

$$A_d = \mu_d N \quad (2.1-3)$$

con μ_d = coefficiente di attrito dinamico;

- attrito volvente

$$A_v = \mu_v \frac{N}{r} \quad (2.1-4)$$

con μ_v = coefficiente di attrito volvente

r = raggio del corpo che rotola

Sperimentalmente si verifica che il coefficiente di attrito statico è maggiore del coefficiente di attrito dinamico che a sua volta è maggiore di quello volvente:

$$\mu_s > \mu_d > \mu_v \quad (2.1-5)$$

Nei casi in esame non viene preso in considerazione l'attrito volvente in quanto non presente nei fenomeni in studio.

Il grafico sottostante (figura 2.1.-2) mostra schematicamente il passaggio (diminuzione) dalla forza di attrito statico a quella dinamica (velocità costante).

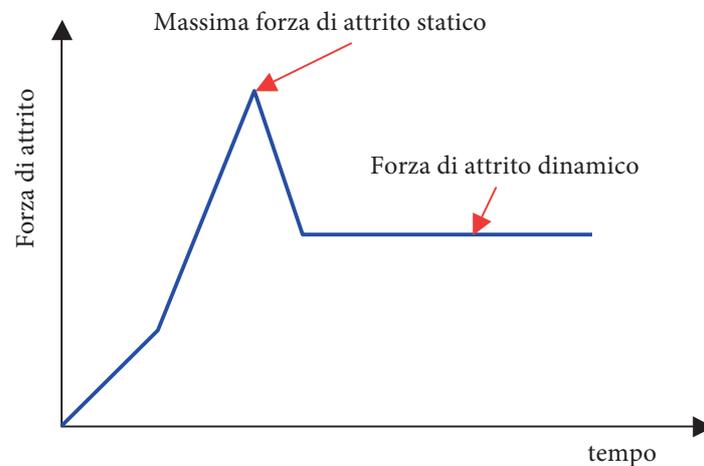


Figura 2.1-2 Forza di attrito statico e forza di attrito dinamico

Attrito statico o radente per materiali metallici

La teoria dell'attrito statico non è stata ancora definita in modo esauriente, è tuttavia possibile dare una spiegazione qualitativa del fenomeno.

Le superfici dei solidi, anche se opportunamente levigate, presentano a livello microscopico delle asperità più o meno accentuate e, quando due superfici sono a contatto, tali asperità tendono a incastrarsi fra loro, determinando così un ostacolo al moto relativo dei due corpi. La forza con cui i due corpi sono premuti l'un l'altro favorisce tale compenetrazione. Inoltre, essendo le zone di contatto molto piccole, la pressione specifica risulta molto alta, determinando deformazioni plastiche delle asperità, mentre il materiale sottostante si deforma elasticamente. La deformazione delle asperità fa sì che la superficie di contatto effettiva aumenti rimanendo comunque minore di quella apparente.

Alla situazione sopra esposta si aggiungono forze di adesione intermolecolari che intervengono quanto maggiore è il grado di finitura. L'adesione dipende dalle proprietà chimiche, fisiche e meccaniche dei materiali a contatto.

Il fenomeno nel suo complesso porta alla formazione di microsaldature a freddo tra le superfici reali dei due corpi.

Il coefficiente di attrito è quindi strettamente legato al grado di finitura delle superfici e in generale, per quanto riguarda la rugosità superficiale, si può fare riferimento al grafico schematico a barretta di figura 2.1-3. Dove la rugosità risulta bassa l'attrito è alto in quanto aumenta la superficie reale di contatto, aumentando così i fenomeni dovuti all'adesione; mentre laddove risulta alta l'attrito è ancora elevato in quanto è necessario superare le asperità. Nel tratto intermedio l'influenza della rugosità sull'attrito è bassa.

Si può pensare che la causa dell'attrito dipenda da due fattori: nel caso di superfici con finitura grossolana la forza resistente è dovuta principalmente alla compenetrazione delle asperità mentre con finitura più spinta entrano in gioco le forze di coesione intermolecolari.

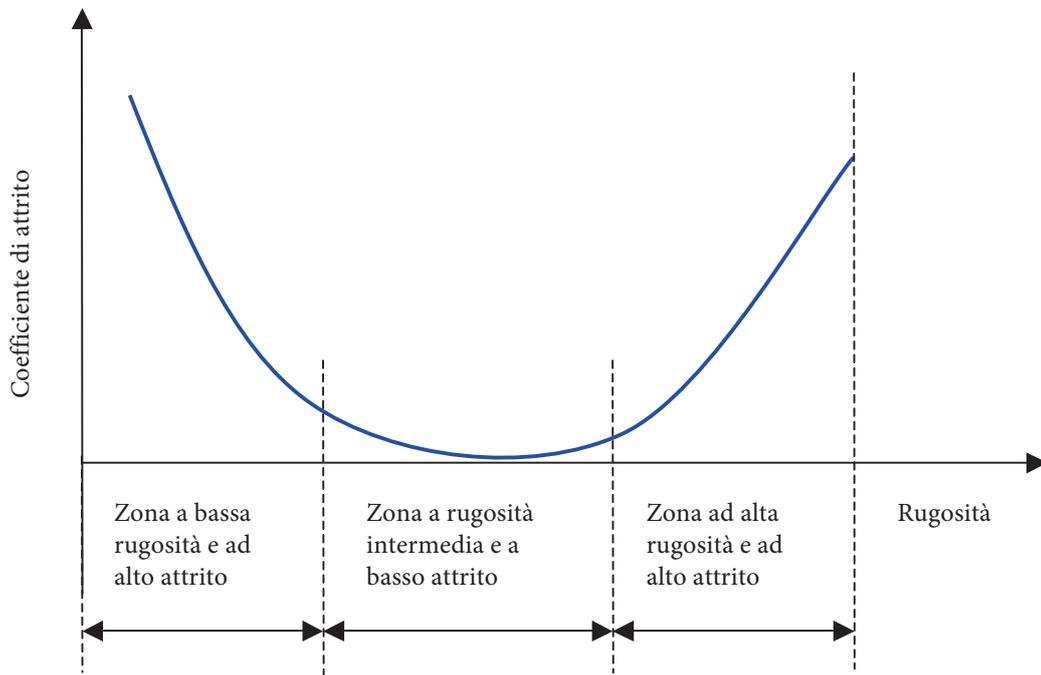


Figura 2.1-3 Variazione del coefficiente di attrito in funzione della rugosità

La formulazione dell'attrito per materiali metallici

Per ottenere lo scorrimento tra due superfici a contatto è necessario rompere i legami fra le giunzioni. La relativa forza minima per ottenere lo scorrimento è data dalla forza di taglio A :

$$A = \tau S_r \quad (2.1-6)$$

dove: τ = resistenza specifica di rottura della giunzione allo sforzo di taglio;

S_r = superficie reale di contatto.

Se il carico normale tra le due superfici è N e la tensione di snervamento sotto compressione del materiale meno duro è σ , allora l'area reale S_r di contatto si può supporre essere:

$$S_r = \frac{N}{\sigma} \quad (2.1-7)$$

che, sostituendo nella (2.1-6), fornisce:

$$A = \frac{\tau N}{\sigma} \quad (2.1-8)$$

Posto:

$$\mu_s = \frac{\tau}{\sigma} \quad (2.1-9)$$

si ottiene la formulazione (2.1-2), dove in μ_s si riconosce il coefficiente di attrito, che esprime la relazione semplificata della teoria dell'attrito sopra esposta.

Dalla relazione (2.1-9) si evince che per ottenere alti coefficienti di attrito sono necessarie forti interfacce che richiedono quindi sforzi di taglio elevati e caratteristiche dei materiali basse.

Le caratteristiche di resistenza dei materiali sono generalmente direttamente proporzionali alla durezza degli stessi per cui, quando un materiale duro striscia su uno più tenero, tende a scavare su quest'ultimo dei solchi per cui l'attrito aumenta: normalmente la durezza è un fattore abbastanza trascurabile.

Quanto sopra è stato esposto per superfici di materiali metallici perfettamente puliti e non inquinati da ossidi o altri tipi di inclusioni.

Nel caso di superfici metalliche reali, separate nella zona di contatto da un film contaminante più debole del materiale base, esse presentano una tensione di rottura al taglio nella zona di interfaccia più bassa di quella della massa del materiale base. Pertanto, è ancora possibile utilizzare la relazione semplificata (2.1-9) tenendo conto della tensione critica di taglio più bassa.

Attrito statico o radente per materiali polimerici

Allo stato delle conoscenze attuali, nei materiali elastomerici, il legame tra il coefficiente di attrito e i parametri da cui esso dipende (pressione locale, rugosità delle superfici a contatto, temperatura, velocità di scorrimento ecc.), può essere individuato solo con indagini sperimentali in quanto non c'è una teoria che possa fornire una spiegazione del fenomeno in maniera quantitativa esaustiva.

In genere, nel caso in cui una o entrambe le superfici siano di materiale polimerico, non risulta applicabile la relazione 2.1-2, in quanto tale materiale si deforma in maniera viscoelastica. La deformazione dipende non solo dal carico normale N ma anche dalla geometria della superficie di contatto e dal tempo di permanenza del carico. Normalmente i materiali polimerici sono caratterizzati da un coefficiente di attrito che diminuisce col crescere del carico.

Per una trattazione più esaustiva si rimanda ai testi specialistici.

2.2 Scala in appoggio

La scala in appoggio, a partire dalla corretta posizione d'uso, presenta quattro modi di instabilità:

- 1) Instabilità allo slittamento alla base;
- 2) Instabilità allo slittamento laterale in sommità;
- 3) Instabilità alla rotazione intorno a un montante;
- 4) Instabilità al rovesciamento all'indietro.

2.2.1 Stabilità allo slittamento alla base

Con stabilità di una scala allo slittamento alla base, si intende la capacità che ha una scala a opporsi alle azioni che determinano lo scivolamento della base dei montanti lungo la superficie di appoggio.

La figura 2.2-1 illustra schematicamente il modo in cui si esplica l'instabilità alla base di appoggio.

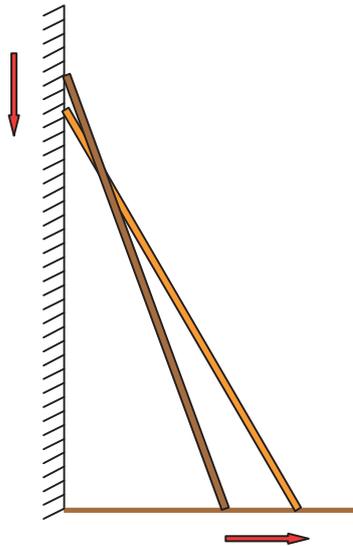


Figura 2.2.1-1 Instabilità allo slittamento alla base

Il mantenimento della scala in appoggio in posizione stabile è dovuto alla presenza dell'attrito sia sulla parete verticale sia sulla superficie orizzontale e alla consistenza delle azioni legate alla sua geometria e alla sua massa che ne determinano il movimento. Una maggiore efficacia al comportamento stabile si realizza con una migliore presa alla base.

2.2.1.1 Stabilità di un corpo appoggiato

Corpo su un piano inclinato

Un corpo di peso N in quiete, posto su un piano inclinato (figura 2.2.1.1-1), rimane tale se la forza di attrito A ha un modulo sufficiente a opporsi alla componente della forza peso parallela alla superficie inclinata.

Se si aumenta l'inclinazione del piano, ci sarà un angolo α in corrispondenza del quale il corpo inizia a muoversi: quest'angolo è il massimo angolo di riposo per il corpo e il valore della tangente di quest'angolo ha lo stesso valore del coefficiente di attrito statico.

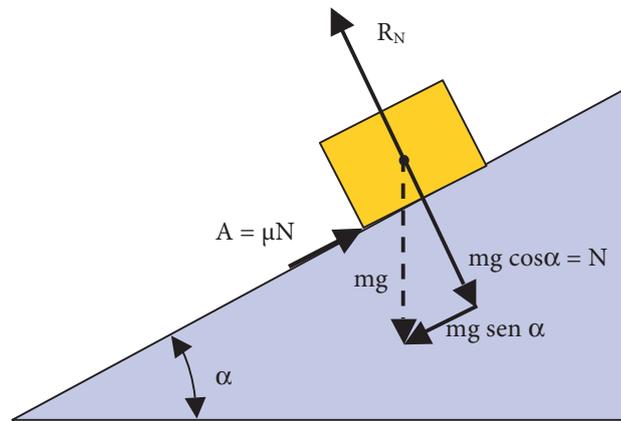


Figura 2.2.1.1-1 Condizioni di equilibrio su un piano inclinato

Le condizioni di equilibrio nella direzione del piano inclinato sono:

$$\mu N = mg \sin \alpha \tag{2.2.1.1-1}$$

Dalla relazione (1) si ricava μ , dopo aver sostituito e semplificato:

$$\mu = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha \tag{2.2.1.1-2}$$

Corpo su un piano orizzontale

Un corpo in quiete, posto su un piano orizzontale (figura 2.2.1.1-2), rimane tale fino a quando la forza spingente F non supera la forza di attrito A di primo distacco, data dalla relazione 2.1-2.

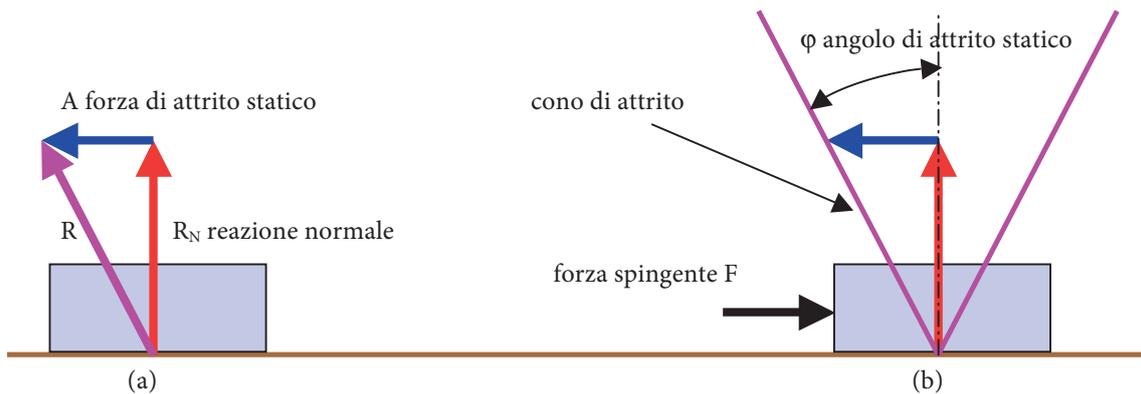


Figura 2.2.1.1-2 Triangolo delle forze e cono di attrito

La figura 2.2.1.1-2 (a) fornisce graficamente il vettore risultante R composto dal vettore reazione $R_N = N$ con il vettore forza di attrito A . Tale somma vettoriale viene rappresentata nel piano da un triangolo (figura 2.2.1.1-2 (b)). Nello spazio, considerando il corpo in tre dimensioni, si ottiene un cono sulle cui falde giacciono i vettori delle reazioni. Esso viene chiamato cono d'attrito.

Il rapporto fra la forza di attrito A e la reazione normale R_N definisce il valore della tangente dell'angolo φ , che corrisponde al valore del coefficiente di attrito tra corpo e superficie di appoggio:

$$\mu = \frac{A}{R_N} = \operatorname{tg}\varphi \quad (2.2.1.1-3)$$

Fino a quando la forza spingente F , con la sua intensità, rimane all'interno del cono di attrito (figure 2.2.1.1-3), il corpo non si muove in quanto la forza di attrito A di primo distacco è maggiore. Solo quando il modulo della forza spingente F supera la falda del cono di attrito, il corpo inizia a muoversi.

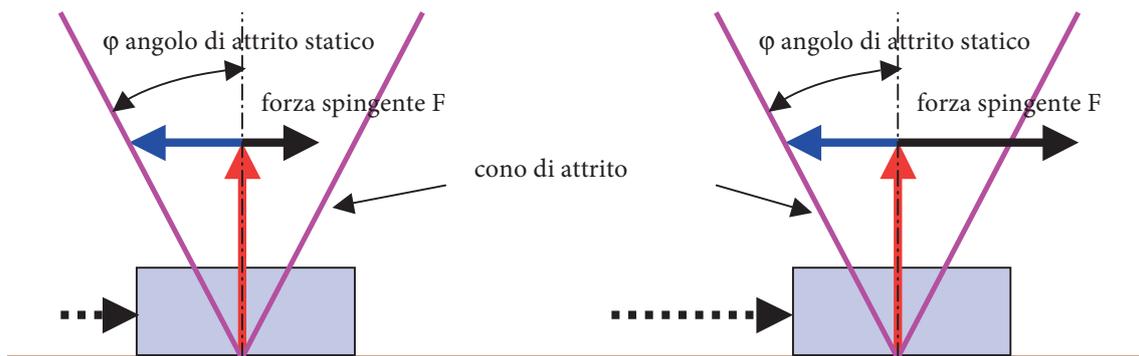


Figura 2.2.1.1-3 Forza spingente all'interno e all'esterno del cono di attrito

2.2.1.2 Grafica dell'equilibrio allo slittamento alla base

A una scala in appoggio si possono applicare considerazioni di equilibrio grafico analoghe a quelle fatte in precedenza. Posta una scala in appoggio su una parete verticale e con un angolo α di inclinazione rispetto alla superficie orizzontale, si consideri l'equilibrio allo slittamento alla base che presenta un coefficiente di attrito μ_0 . Per semplicità si trascuri l'attrito sulla parete verticale e il peso della scala (figura 2.2.1.2-1).

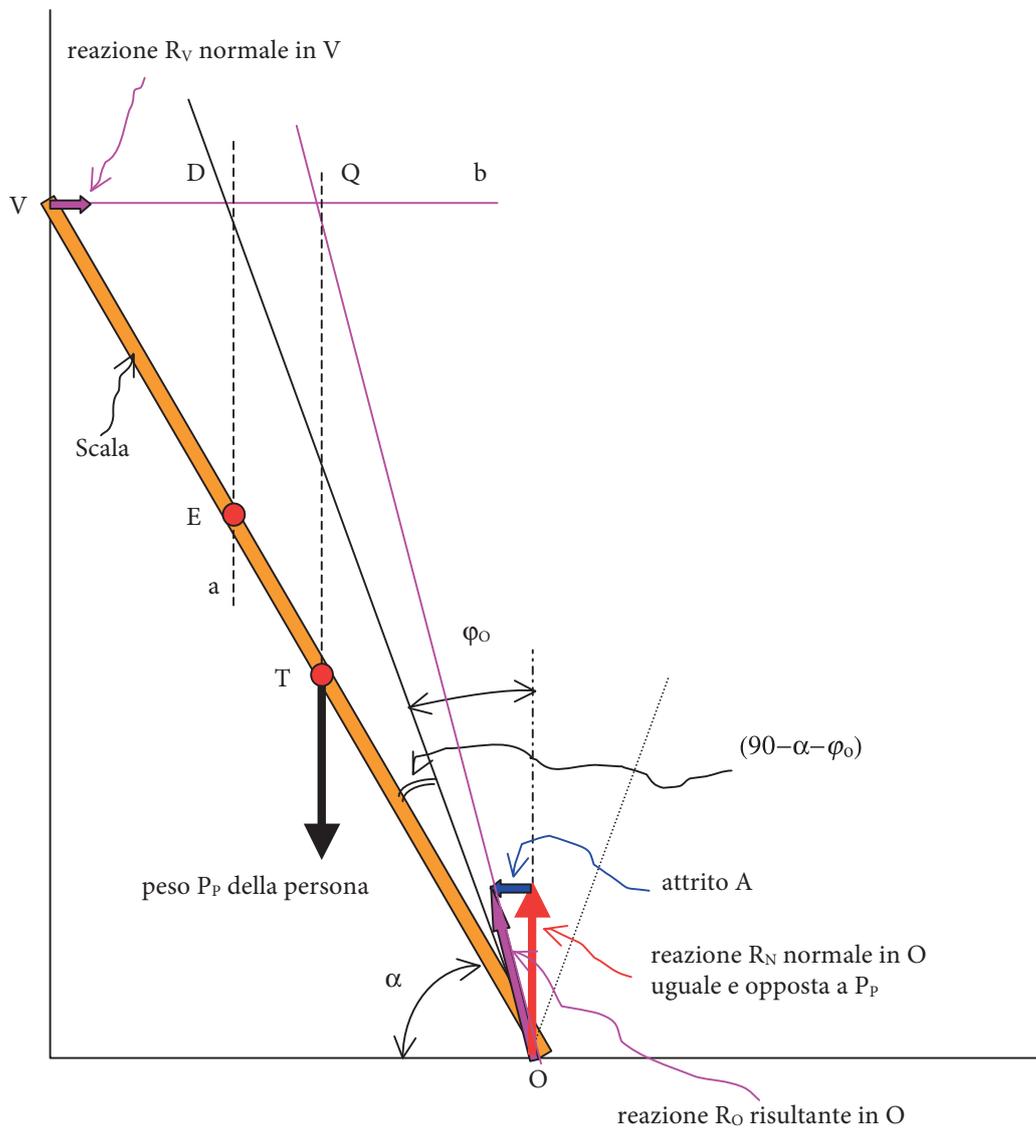


Figura 2.2.1.2-1 Cono di attrito alla base della scala

Il cono di attrito alla base ha un'apertura $\varphi_0 = \arctg \mu_0$ mentre sulla parete, essendo $\mu_v = 0$, il cono di attrito si riduce alla linea "b". Pertanto, le falde dei due coni si intersecheranno nel punto D.

Per l'equilibrio della scala, le due reazioni (R_O e R_V) devono comporsi nel punto d'incontro delle loro linee di azione Q per fornire una risultante uguale e opposta a P_p .

L'equilibrio sarà possibile fintanto che il punto T, che rappresenta la persona che sale su di una scala, si muoverà tra O ed E, in quanto ci sarà sempre una reazione (attrito A) che potrà contrastare la reazione R_V .

Il punto E, che si trova lungo la linea di azione "a" della risultante delle reazioni R_O e R_V che giac-

ciono sulla falda dei due coni, è il punto limite oltre il quale (tratto tra T e V) la persona non potrà salire poiché la scala non sarà più in grado di fornire una sufficiente reazione dovuta all'attrito, atta a mantenere il suo equilibrio statico, per cui inizierà a slittare alla base.

Stesse considerazioni si possono fare considerando anche il peso della scala e la presenza di attrito sulla parete verticale (figura 2.2.1.2-2). Infatti, posto per semplicità lo stesso coefficiente di attrito μ su entrambe le superfici, sulla parete verticale si avrà un cono di attrito con apertura φ la cui falda intersecherà quella del cono alla base nel punto C.

Il punto E è sempre il punto limite oltre il quale non si potrà salire, pena lo slittamento della scala.

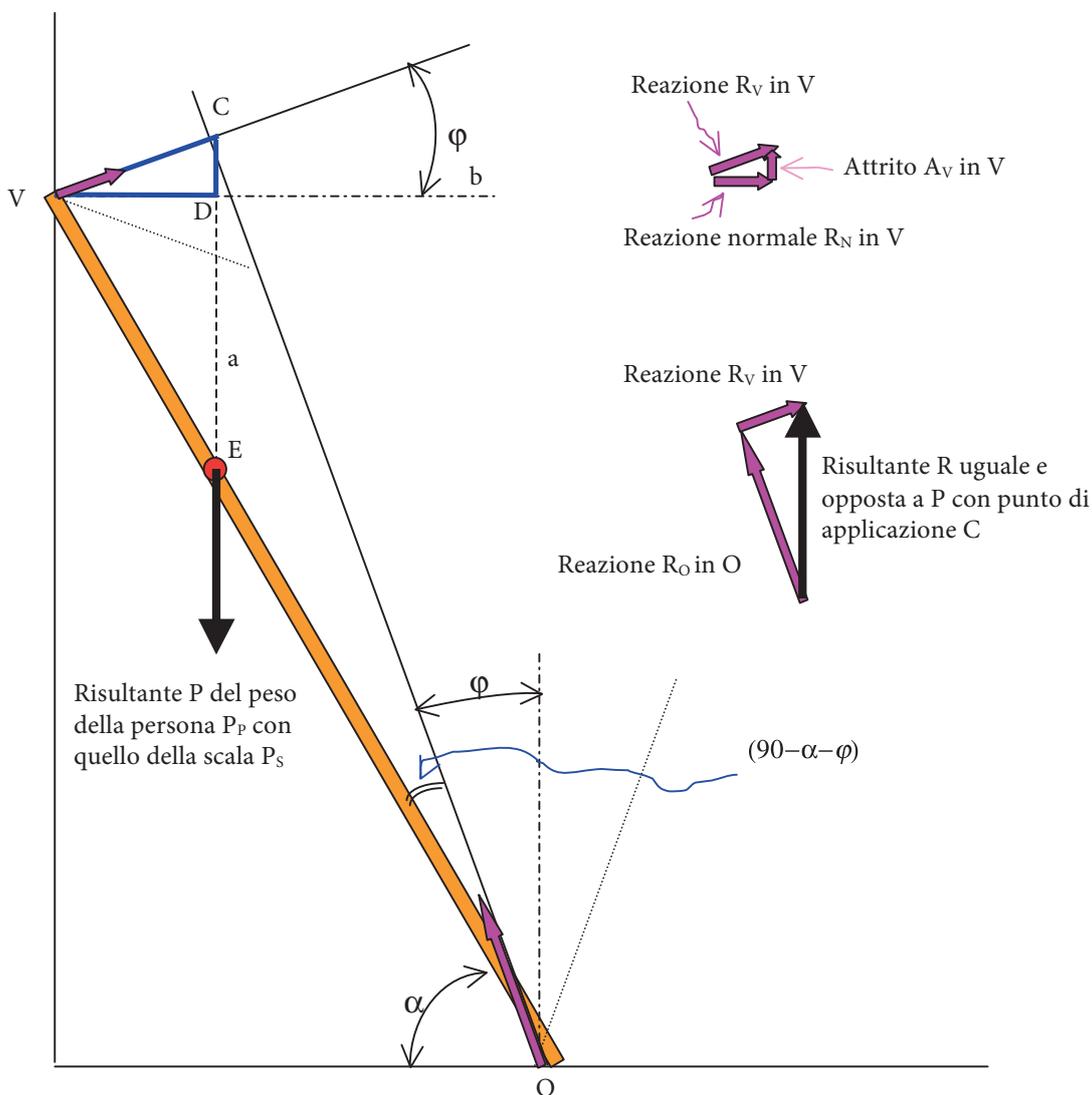


Figura 2.2.1.2-2 Cono di attrito alla base e alla sommità della scala

La figura 2.2.1.2-3 indica due zone: una a destra della linea verticale “a” in cui è possibile effettuare la salita sulla scala in condizioni di sicurezza allo slittamento; l’altra a sinistra della linea verticale “a”, in cui la salita non può essere effettuata, causa lo slittamento della scala. Pertanto, la linea “a” rappresenta il confine tra la condizione di slittamento e non slittamento.

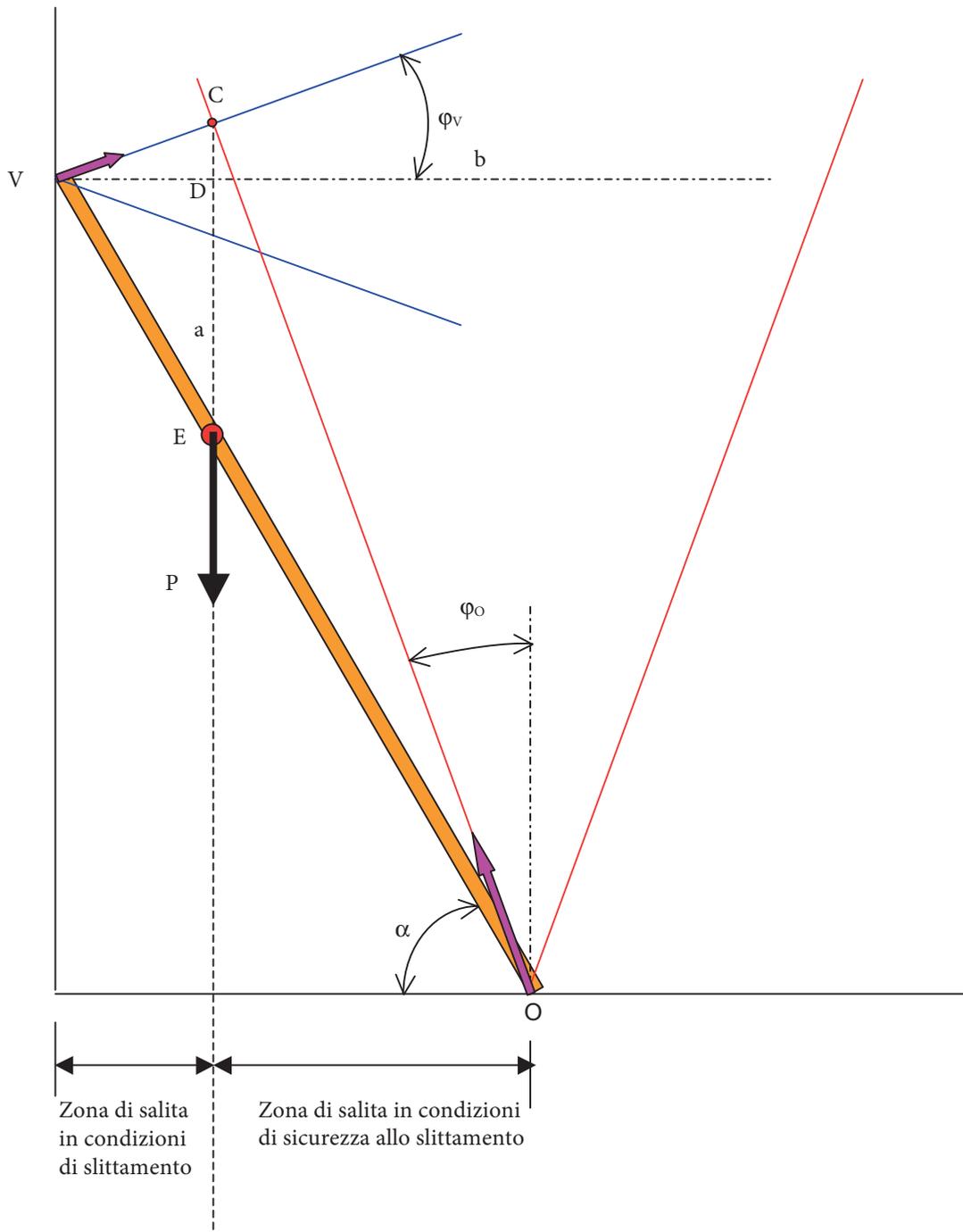


Figura 2.2.1.2-3 Zona di sicurezza e zona di slittamento

La figura 2.2.1.2-4 mostra graficamente che l'attrito sulla parete verticale contribuisce in misura minore all'equilibrio allo slittamento alla base della scala rispetto all'attrito presente sulla superficie orizzontale. Infatti, la retta verticale "a", relativa alla intersezione delle falde dei cono di attrito, è passata dal punto D (retta c) al punto C. Di conseguenza il punto limite M ($\mu_v = 0$) si sposta di poco, per cui il punto limite E ($\mu_v \neq 0$) è abbastanza prossimo a M.

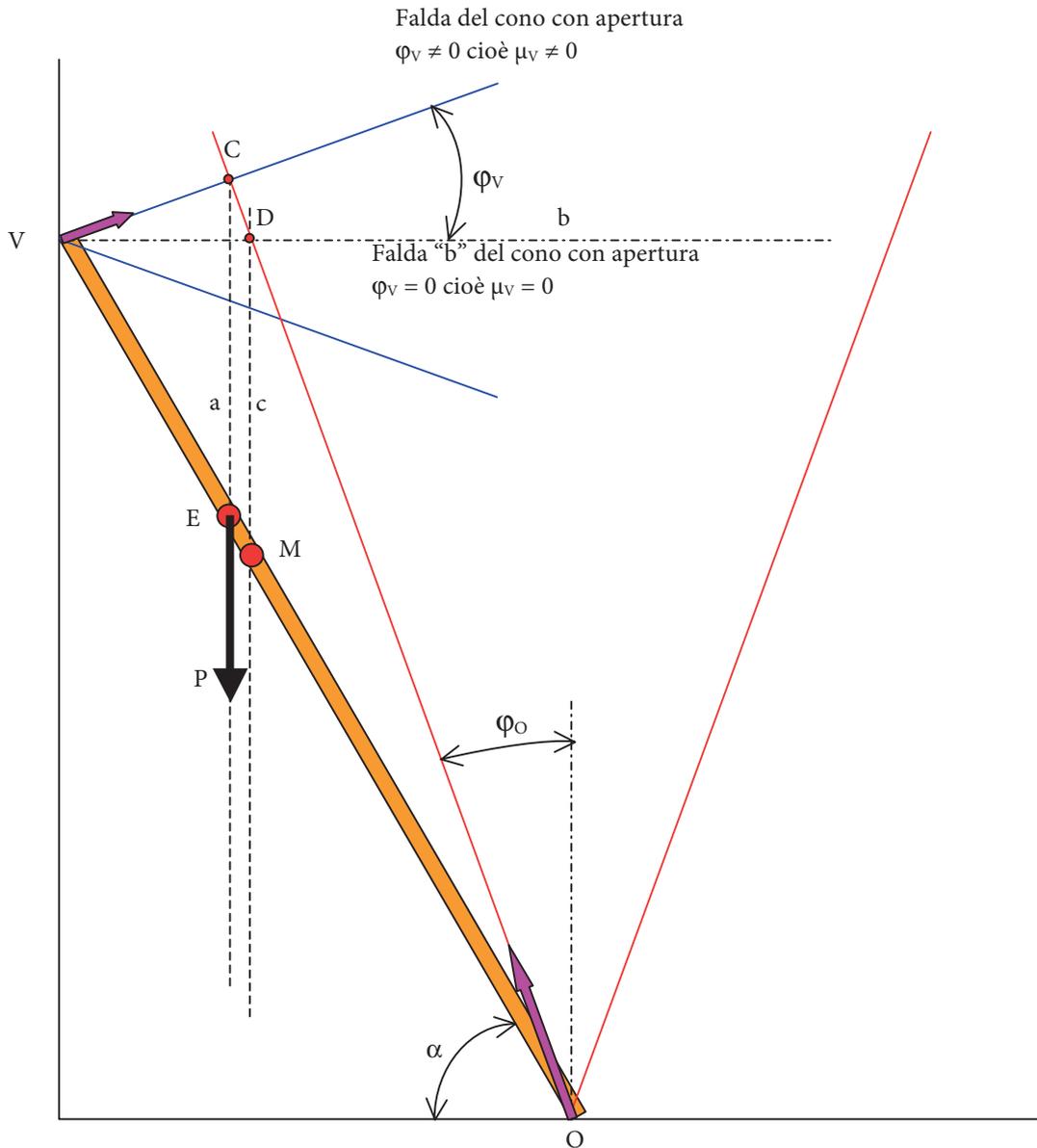


Figura 2.2.1.2-4 Confronto tra cono di attrito in sommità della scala con $\mu_v = 0$ e $\mu_v \neq 0$

Si è detto che una persona può salire su una scala, senza che questa slitti alla base, fintanto che non supera il punto E. Se vuole salire fino in cima alla scala, il punto E deve portarsi nel punto V di appoggio della scala sulla parete verticale. Ciò vuol dire che la falda del cono di attrito alla base deve risultare parallela alla scala (figura 2.2.1.2-5). Si deduce pertanto che l'equilibrio della scala

allo slittamento alla base è assicurato quando il coefficiente di attrito μ_o determina un cono di attrito la cui falda ha un angolo di apertura $\varphi \geq (90^\circ - \alpha)$.

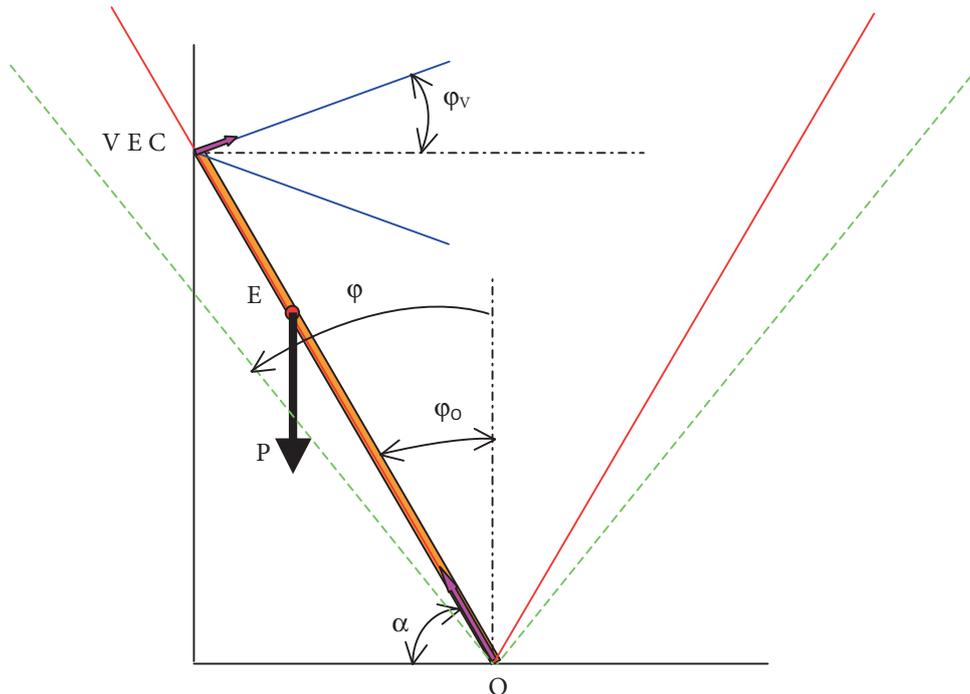


Figura 2.2.1.2-5 Cono di attrito con angolo della falda $\varphi \geq (90^\circ - \alpha)$

Per puro esercizio (poiché in pratica l'utilizzo di una scala deve essere sempre garantito in condizioni di stabilità) si fornisce una formulazione che permette di calcolare fin dove un ipotetico utilizzatore può salire (l_p) senza che la scala inizi a slittare. l_p assume il valore l quando l'utilizzatore è in cima alla scala.

È sufficiente conoscere:

l lunghezza della scala

α angolo di inclinazione della scala

φ_o angolo di attrito alla base ($\varphi_o = \arctg\mu_o$)

φ_v angolo di attrito sulla parete verticale ($\varphi_v = \arctg\mu_v$)

Facendo riferimento alla figura 2.2.1.2-6, si ottiene:

$$l_p = l \frac{\sin(\alpha + \varphi_v)}{\sin(90^\circ - \varphi_v + \varphi_o)} \times \frac{\sin\varphi_o}{\sin(90^\circ + \alpha)}$$

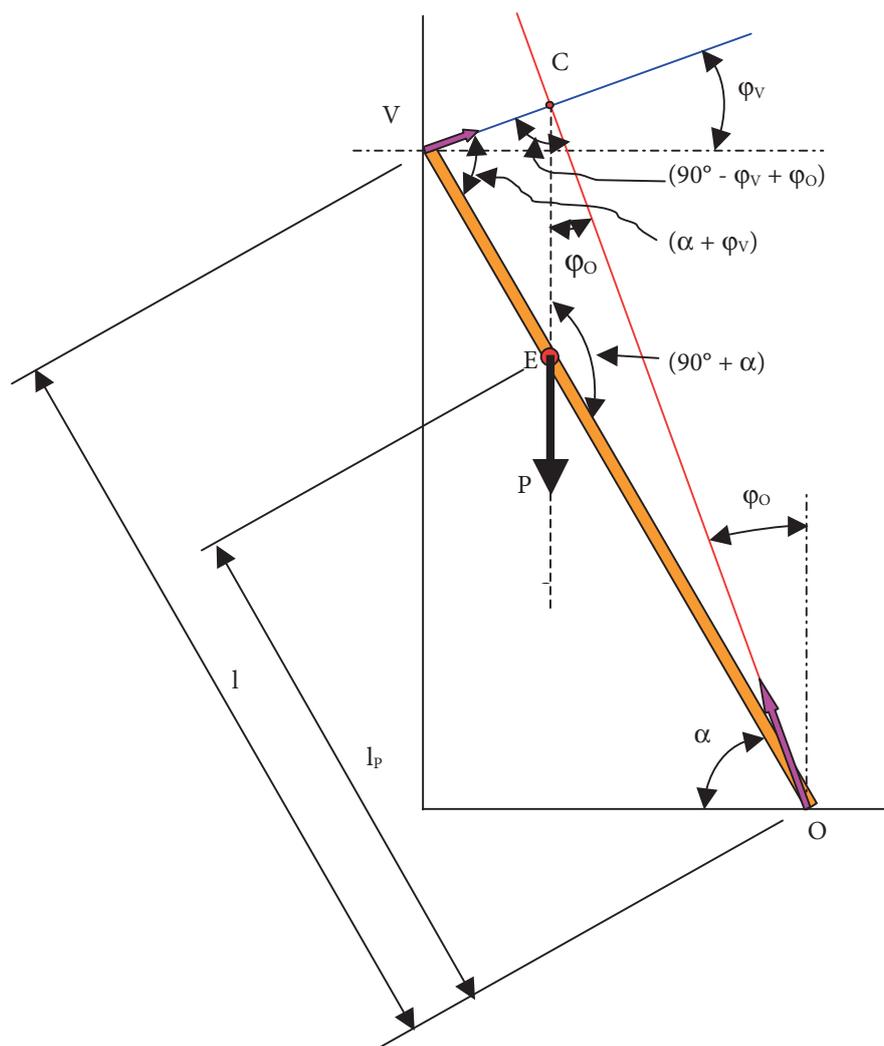


Figura 2.2.1.2-6 Punto massimo fin dove si può salire

2.2.1.3 Considerazioni analitiche sulla stabilità allo slittamento alla base

Si consideri una persona che sale su una scala appoggiata contro una parete verticale, con la base posta su una superficie orizzontale (figura 2.2.1.3-1), dove:

- P_p peso della persona
- P_s peso della scala
- P $P_p + P_s$ carico totale agente sulla scala
- α angolo di inclinazione della scala rispetto la superficie orizzontale
- l lunghezza della scala
- b_2 larghezza della scala, misurata alla base tra i fianchi esterni dei montanti
- l_{GS} distanza del baricentro della scala, misurata a partire dalla base
- l_p distanza del gradino su cui poggiano i piedi della persona, misurata a partire dalla base
- μ_v coefficiente di attrito tra la parete verticale e la sommità dei montanti della scala
- l_M distanza del punto di applicazione del carico P sulla scala, misurata a partire dalla base
- μ_o coefficiente di attrito tra la superficie orizzontale e la base dei montanti della scala

- h distanza tra il punto di appoggio della scala sulla parete verticale e la superficie orizzontale
- b distanza tra il punto di appoggio della scala sulla superficie orizzontale e la parete verticale
- d distanza dalla sommità della scala oltre la quale la persona non deve salire

La scala è sottoposta al proprio peso P_s e al carico dovuto al peso P_p della persona che sale. Ai fini della semplificazione della trattazione si trascura l'effetto dinamico dovuto alla salita della persona, considerando i carichi applicati statici e assumendo la scala come corpo rigido.

Le reazioni ai carichi applicati alla scala, ai fini dello slittamento alla base, sono le seguenti:

- R_{topy} reazione sulla sommità della scala nella direzione dell'asse y (perpendicolare alla parete)
- R_{topz} forza di attrito in sommità della scala in direzione z (verticale)
- R_{basey} forza di attrito alla base della scala in direzione y (parallela alla superficie orizzontale)
- R_{basez} reazione alla base della scala in direzione dell'asse z (verticale)

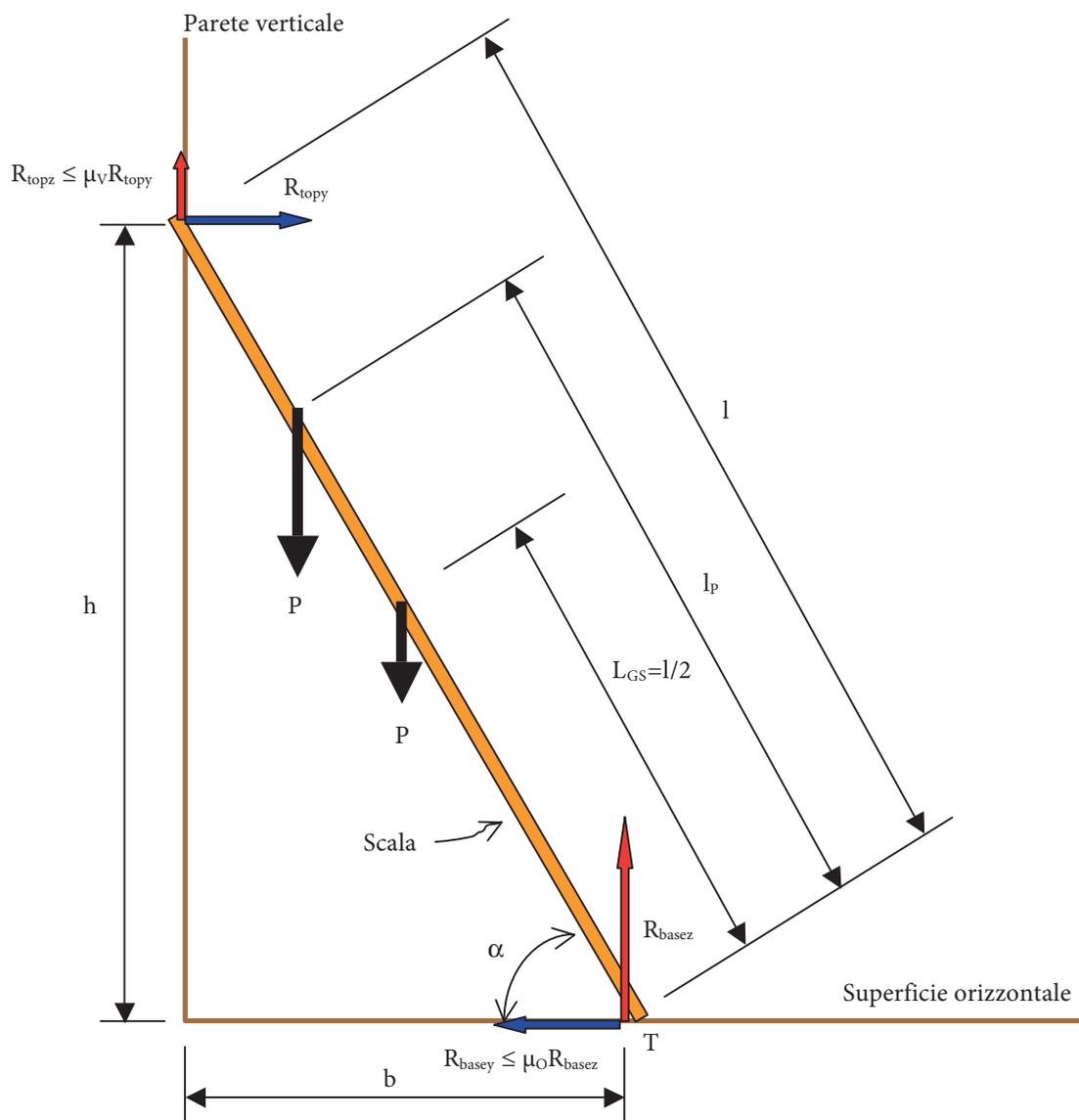


Figura 2.2.1.3-1 Carichi e reazioni sulla scala

Si vuole analizzare quanto “pesano” i carichi e le reazioni in rapporto all'equilibrio della scala e i fattori che influenzano la forza di attrito R_{basey} .

Per l'equilibrio delle forze deve sussistere la seguente condizione:

$$\Sigma F = 0$$

si ha:

$$\Sigma X = 0$$

da cui:

$$R_{basey} = R_{topy} \quad (2.2.1.3-1)$$

si ha

$$\Sigma Y = 0$$

da cui:

$$R_{basez} + R_{topz} - P_p - P_s = 0 \quad (2.2.1.3-2)$$

$$P_p + P_s = R_{basez} + R_{topz}$$

Questo indica che il peso della scala e il peso della persona, applicati alla scala, vengono equilibrati dalla reazione normale alla base di appoggio e dalla forza di attrito che si sviluppa sulla parete verticale.

Considerando che $R_{topy} = R_{basey}$ e $R_{basey} \leq \mu_O R_{basez}$, dalla relazione $R_{topz} \leq \mu_V R_{topy}$ si ottiene:

$$R_{topz} \leq \mu_V R_{topy} = \mu_V R_{basey} \leq \mu_V \mu_O R_{basez}$$

La relazione 2.2.1.3-2, sostituendo $R_{topz} = \mu_V \mu_O R_{basez}$ diventa:

$$P_p + P_s = R_{basez} + \mu_V \mu_O R_{basez} = R_{basez}(1 + \mu_V \mu_O) \quad (2.2.1.3-3)$$

Si evince che i carichi verticali sono principalmente scaricati alla base della scala, essendo normalmente il prodotto $\mu_V \mu_O$ abbastanza piccolo, e che il rapporto R_{basez}/R_{topz} è pari a $1/(\mu_V \mu_O)$.

Con un esempio numerico, posto: $\mu_V = 0,2$, $\mu_O = 0,3$, $P_p = 150$ kg, $P_s = 10$ kg

$$R_{basez} = \frac{P_p + P_s}{1 + \mu_V \mu_O} = \frac{150 + 10}{1 + 0,2 \times 0,3} = \frac{160}{1,06} = 150,9 \text{ kg}$$

$$R_{Basez} = \frac{R_{topz}}{\mu_V \mu_O} = \frac{R_{topz}}{0,2 \times 0,3} = 16,7 R_{topz}$$

la reazione R_{basez} alla base della scala risulta essere circa il 94% del carico totale e 17 volte maggiore della reazione R_{topz} dovuta all'attrito in sommità.

Per l'equilibrio dei momenti deve sussistere la seguente condizione:

$$\Sigma M = 0$$

Prendendo come polo dei momenti il punto T alla base della scala e con il baricentro della scala posto a $l/2$, si ottiene:

$$\begin{aligned} \Sigma M_T &= 0 \\ P_P l_P \cos \alpha + P_S \frac{l}{2} \cos \alpha - R_{topy} l \sin \alpha - R_{topz} l \cos \alpha &= 0 \\ P_P l_P \cos \alpha + P_S \frac{l}{2} \cos \alpha &= R_{topy} l \sin \alpha + R_{topz} l \cos \alpha \\ P_P l_P \cos \alpha + P_S \frac{l}{2} \cos \alpha &= R_{topy} l \sin \alpha + \mu_V R_{topy} l \cos \alpha \end{aligned} \quad (2.2.1.3-4)$$

Il secondo termine del secondo membro risulta essere molto piccolo rispetto al primo. Infatti, se si effettua il rapporto tra i due risulta:

$$R_K = \frac{R_{topy} l \sin \alpha}{\mu_V R_{topy} l \cos \alpha} = \frac{\sin \alpha}{\mu_V \cos \alpha} = \frac{\tan \alpha}{\mu_V}$$

Se si pone $\alpha = 70^\circ$ e $\mu_V = 0,2$, si ottiene $R_K = 13,8$, se $\alpha = 65^\circ$ e $\mu_V = 0,2$, si ottiene $R_K = 10,7$.

Dalla relazione 2.2.1.3-4 si ricava dunque la R_{topy} :

$$R_{topy} = \frac{1}{\tan \alpha + \mu_V} \left(P_P \frac{l_P}{l} + \frac{P_S}{2} \right)$$

Essa è stata ricavata considerando il baricentro nella mezzera della scala ($l/2$). Se ciò non è vero essa diventa:

$$R_{topy} = \frac{1}{\tan \alpha + \mu_V} \left(P_P \frac{l_P}{l} + \frac{l_{GS}}{l} P_S \right) \quad (2.2.1.3-5)$$

dove l_{GS} è la distanza del baricentro della scala, misurata a partire dalla base.

Applicando la (2.2.1.3-1) si ha:

$$R_{basey} = R_{topy} = \frac{1}{\tan \alpha + \mu_V} \left(P_P \frac{l_P}{l} + \frac{l_{GS}}{l} P_S \right) \quad (2.2.1.3-6)$$

Per la stabilità della scala, deve sussistere la condizione $R_{topy} = R_{basey} \leq \mu_O R_{basez}$: questo significa che R_{basey} deve essere sempre minore o uguale alla massima forza di attrito disponibile ($\mu_O R_{basez}$). Quando $R_{basey} > \mu_O R_{basez}$ la scala inizia a slittare alla base.

È interessante esaminare, mediante la relazione 2.2.1.3-6, la variazione di R_{basey} al variare di α e μ_V per una stessa scala.

Posto $(P_p \frac{l_p}{l} + \frac{l_{GS}}{l} P_s) = K$, ovvero costante per una stessa scala e per una determinata posizione della persona sulla stessa,

si ha:

$$\frac{R_{basey}}{K} = \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha + \mu_v} \quad (2.2.1.3-7)$$

La tabella 2.2.1.3-1 riporta i valori numerici di R_{basey}/K al variare di α tra 65° e 75° e di μ_v tra 0,0 e 0,5.

α	R_{basey}/K						
	$\mu_v = 0,0$	$\mu_v = 0,05$	$\mu_v = 0,1$	$\mu_v = 0,2$	$\mu_v = 0,3$	$\mu_v = 0,4$	$\mu_v = 0,5$
65°	0.47	0.46	0.45	0.43	0.41	0.39	0.38
67°	0.42	0.42	0.41	0.39	0.38	0.36	0.35
69°	0.38	0.38	0.37	0.36	0.34	0.33	0.32
70°	0.36	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31
71°	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29
73°	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.27	0.27
75°	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24

Tabella 2.2.1.3-1 Variazione di R_{basey} al variare di α e μ_v

Alla luce dei risultati riportati si può affermare che:

- a parità di coefficiente di attrito sulla parete, passando da un angolo di inclinazione della scala da 65° a 75° , la forza di attrito richiesta diminuisce da circa il 74% al 58%.
- a parità di angolo di inclinazione della scala, passando da un coefficiente di attrito sulla parete praticamente nullo a 0,5, la forza di attrito richiesta diminuisce da circa il 24% al 13%.

Da quanto sopra esposto si evidenzia l'importanza di avere un angolo di inclinazione della scala più alto possibile (che non deve essere superiore a 75° per non incorrere nell'instabilità alla rotazione all'indietro intorno alla base dei due montanti), per conferire alla stessa una maggiore stabilità rispetto allo slittamento alla base.

Inoltre, il coefficiente di attrito sulla parete ha meno importanza nel fenomeno dell'instabilità per scivolamento alla base.

Ulteriori considerazioni sulla stabilità alla base possono essere espresse in relazione al coefficiente di attrito μ_o , alla inclinazione della scala e alla posizione del carico su di essa.

Al fine di semplificare la trattazione algebrica, senza perdere nulla nella generalità, si considera il carico $P = P_p + P_s$ come la risultante del peso della persona P_p e della scala P_s applicato nel punto M della scala, ricavato come intersezione della direzione della risultante P con la scala stessa.

Con questa posizione, applicando la relazione $\Sigma M_T = 0$ e, con la notazione di figura 2.2.1.3-2, si ottiene:

$$Pl_M \cos \alpha - R_{topy} l \sin \alpha + R_{topz} l \cos \alpha = 0$$

Elaborando l'espressione algebricamente e trigonometricamente si ricava:

$$R_{basey} = R_{topy} = \left(\frac{1}{\text{tg} \alpha + \mu_V} \right) P \frac{l_M}{l} \quad (2.2.1.3-8)$$

simile alla relazione (2.2.1.3-6), dove l_M è distanza del punto di applicazione del carico P sulla scala, misurata a partire dalla base.

Essendo:

$$\begin{aligned} R_{topy} &= R_{basey} \\ R_{basez} &= P - R_{topz} = P - \mu_V R_{topy} = P - \mu_V R_{basey} \end{aligned}$$

la relazione $\mu_O = \frac{R_{basey}}{R_{basez}}$, con le opportune sostituzioni compresa la (2.2.1.3-8), diventa:

$$\mu_O = \frac{1}{\frac{1}{l_M} (\text{tg} \alpha + \mu_V) - \mu_V} \quad (2.2.1.3-9)$$

Posto $K = \frac{1}{l_M}$, ovvero costante per una stessa scala e per una determinata posizione della persona sulla stessa,

si ha:

$$\mu_O = \frac{1}{K(\text{tg} \alpha + \mu_V) - \mu_V} \quad (2.2.1.3-10)$$

NOTA

In relazione al calcolo di l_M , si sottolinea che esso può essere ricavato nella maniera che segue (vedere figura 2.2.1.3-2):

$$l_M = l - d - x$$

dove:

d si può assumere pari a 0,75 m, valore che potrebbe corrispondere alla distanza del terzultimo gradino di una scala dalla sommità,

x distanza del punto di applicazione della risultante P delle due forze parallele P_p e P_s e agenti nello stesso verso, calcolata mediante la seguente relazione:

$$x = \frac{P_s}{P_p + P_s} (l - l_{GS} - d)$$

La tabella 2.2.1.3-2 riporta i valori numerici di μ_o , al variare di α tra 65° e 75° e di μ_v tra 0,0 e 0,5 (la costante $K = 1,23$ è relativa a una scala con $l = 5$ m, $l_M = 4,08$ m, $d = 0,75$ m, $PP = 100$ kg, $PS = 10$ kg).

α	μ_o						
	$\mu_v = 0,0$	$\mu_v = 0,05$	$\mu_v = 0,1$	$\mu_v = 0,2$	$\mu_v = 0,3$	$\mu_v = 0,4$	$\mu_v = 0,5$
65°	0.38	0.38	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37
67°	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	0.33
69°	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.30
70°	0.30	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29
71°	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27
73°	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24
75°	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21

Tabella 2.2.1.3-2 Variazione di μ_o al variare di α e μ_v

Alla luce dei risultati riportati si può affermare che:

- a parità di coefficiente di attrito sulla parete, passando da un angolo di inclinazione della scala da 65° a 75° , la forza di attrito richiesta varia da circa il 73% al 76%.
- a parità di angolo di inclinazione della scala, passando da un coefficiente di attrito sulla parete praticamente nullo a 0.5, la forza di attrito richiesta varia da circa lo 0.03% al 0.05%.

Quanto sopra evidenzia l'importanza di avere un angolo di inclinazione della scala più alto possibile (non superare 75° per non incorrere nell'instabilità alla rotazione all'indietro intorno alla base dei due montanti), per conferire alla scala una maggiore stabilità rispetto allo slittamento alla base. Inoltre, il coefficiente di attrito sulla parete ha meno importanza nel fenomeno della instabilità per scivolamento alla base.

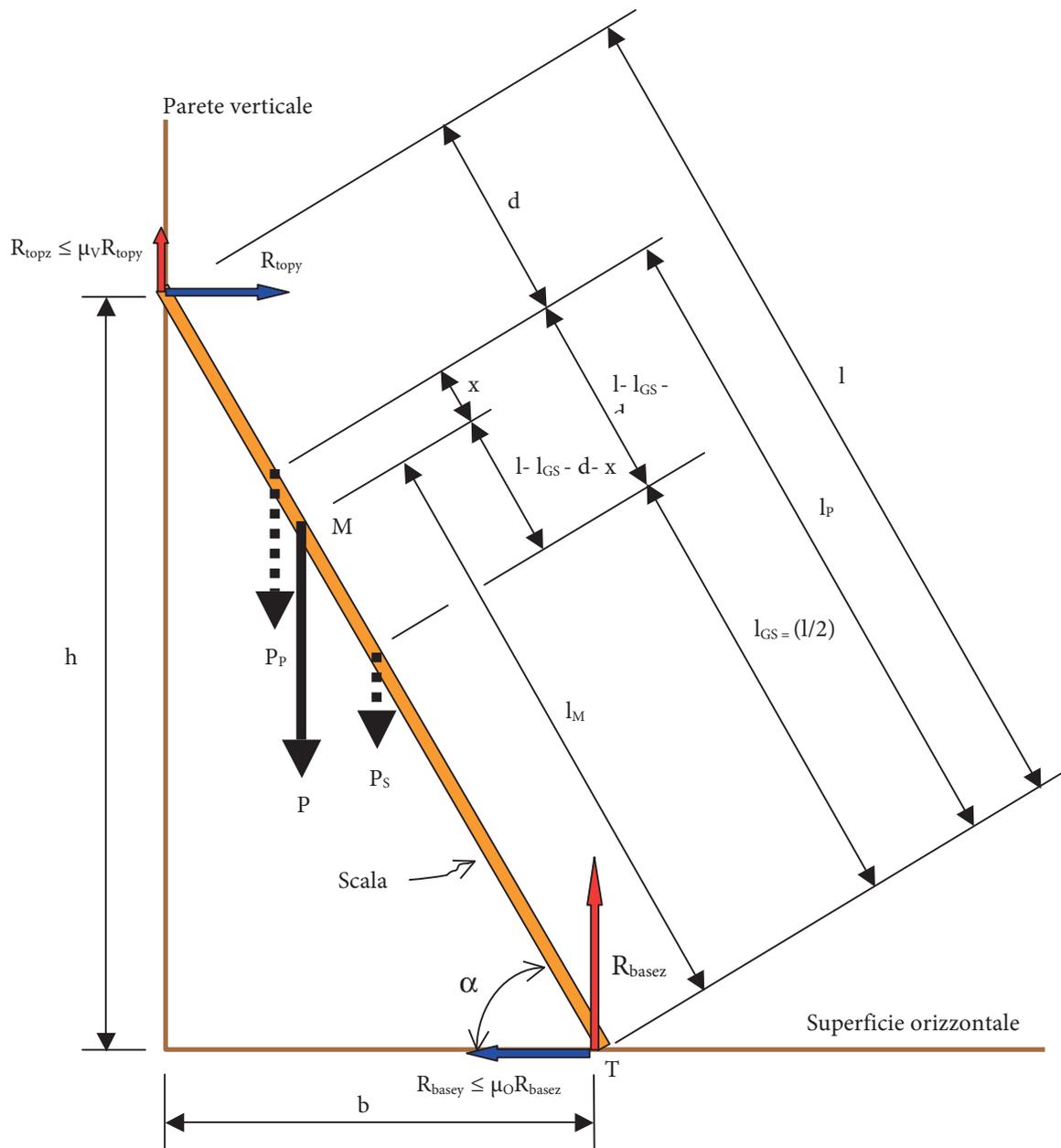


Figura 2.2.1.3-2 Carichi e reazioni sulla scala

2.2.2 Stabilità allo slittamento laterale in sommità

Con stabilità di una scala allo slittamento laterale in sommità, si intende la capacità che la scala ha di opporsi alle azioni che determinano lo scivolamento laterale lungo la superficie della parete verticale con una rotazione attorno alla base di appoggio di un montante.

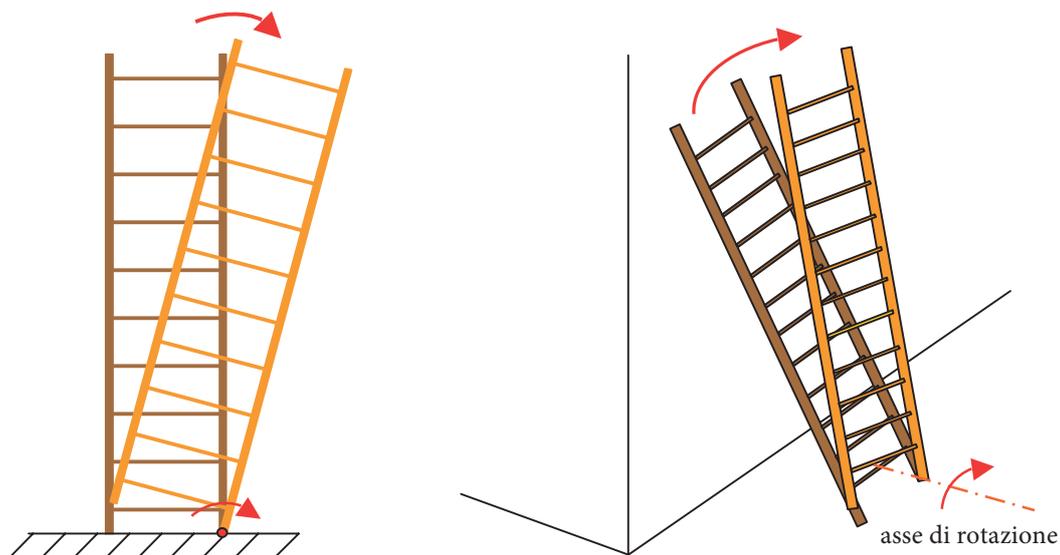


Figura 2.2.2-1 Instabilità allo slittamento laterale in sommità

La figura 2.2.2-1 illustra schematicamente il modo in cui si esplica l'instabilità allo slittamento in sommità.

Questo tipo di instabilità si manifesta:

- quando l'utilizzatore porta il corpo lateralmente alla scala, per cui il suo baricentro cade fuori dalla base di appoggio;
- quando l'utilizzatore effettua delle attività che producono delle forze (F) sulla scala principalmente parallele al piano della stessa, anche avendo il suo baricentro entro la base di appoggio della scala: tirare a sé o spingere qualche oggetto (funi, cavi ecc.); usare il trapano, la sega ecc.; e combinazioni delle suddette attività.

Nel caso in cui l'utilizzatore ha il suo baricentro fuori dalla base di appoggio della scala o effettua un'azione di tiro o di spinta sempre in queste condizioni, si manifesta contemporaneamente sia l'instabilità allo slittamento laterale in sommità sia l'instabilità alla rotazione intorno a un montante.

Le due tipologie d'instabilità vengono trattate separatamente per poi essere analizzate insieme. Per la rappresentazione analitica si veda [Cor-015] paragrafo 2.2.2.

2.2.3 Stabilità alla rotazione intorno a un montante

Con stabilità di una scala alla rotazione intorno a un montante, si intende la capacità di opporsi alle azioni che ne determinano il ribaltamento attorno a un montante considerato come asse di rotazione.

La figura 2.2.3-1 illustra schematicamente il modo in cui si esplica l'instabilità alla rotazione intorno a un montante.

Questo tipo d'instabilità a volte può presentarsi in modo più complesso di quello illustrato in figura, in quanto si può aggiungere anche lo slittamento alla sommità.

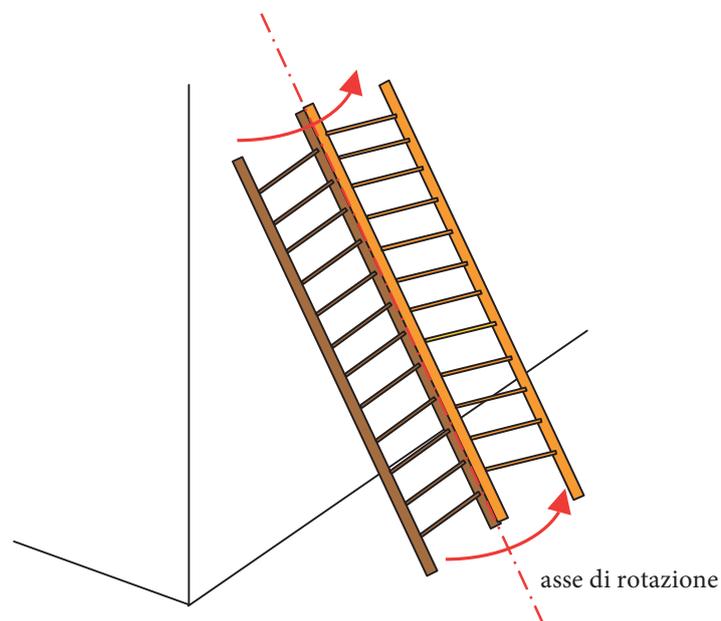


Figura 2.2.3-1 Instabilità alla rotazione intorno a un montante

Per la rappresentazione analitica si veda [Cor-015] paragrafo 2.2.3.

2.2.4 Stabilità al rovesciamento all'indietro

Con stabilità della scala al rovesciamento all'indietro si intende la capacità che ha una scala a opporsi alle azioni che ne determinano il ribaltamento all'indietro, con una rotazione intorno a un'asse passante per la base dei due montanti.

La figura 2.2.4-1 illustra schematicamente il modo in cui si esplica l'instabilità al rovesciamento all'indietro.

Questo tipo d'instabilità dipende soprattutto dall'angolo di inclinazione della scala rispetto alla superficie orizzontale: quanto più la scala si avvicina alla verticale tanto maggiore risulta la possibilità di tale instabilità.

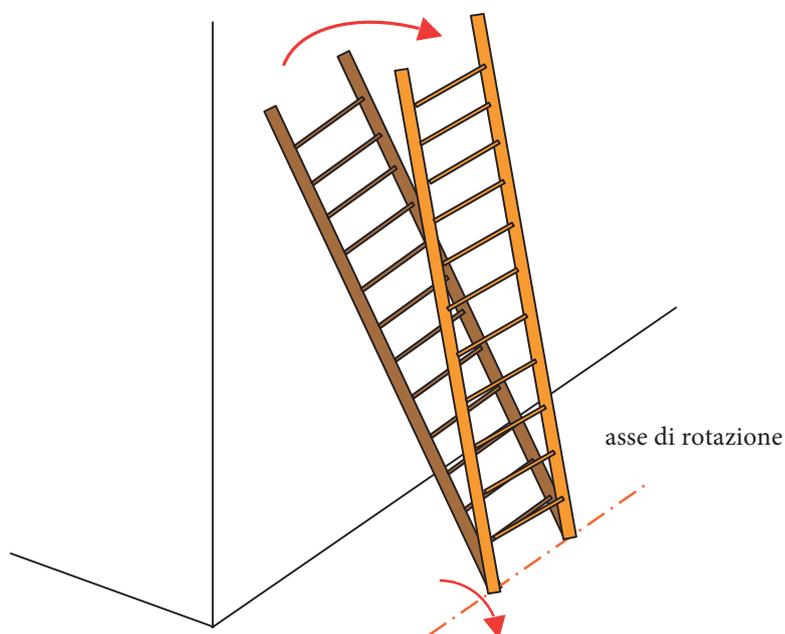


Figura 2.2.4-1 Instabilità alla rotazione all'indietro intorno alla base dei due montanti

2.3 Scala doppia

2.3.1 Stabilità laterale al ribaltamento

La scala doppia, a partire dalla corretta posizione d'uso presenta instabilità al ribaltamento laterale. Con stabilità di una scala doppia al ribaltamento laterale s'intende la capacità della scala a opporsi alle azioni che ne determinano il ribaltamento attorno a un'asse passante alla base di due montanti laterali, uno relativo al tronco di salita e l'altro relativo al tronco di supporto, considerato come asse di rotazione.

La figura 2.3.1-1 illustra schematicamente il modo in cui si esplica l'instabilità alla rotazione intorno a un montante.

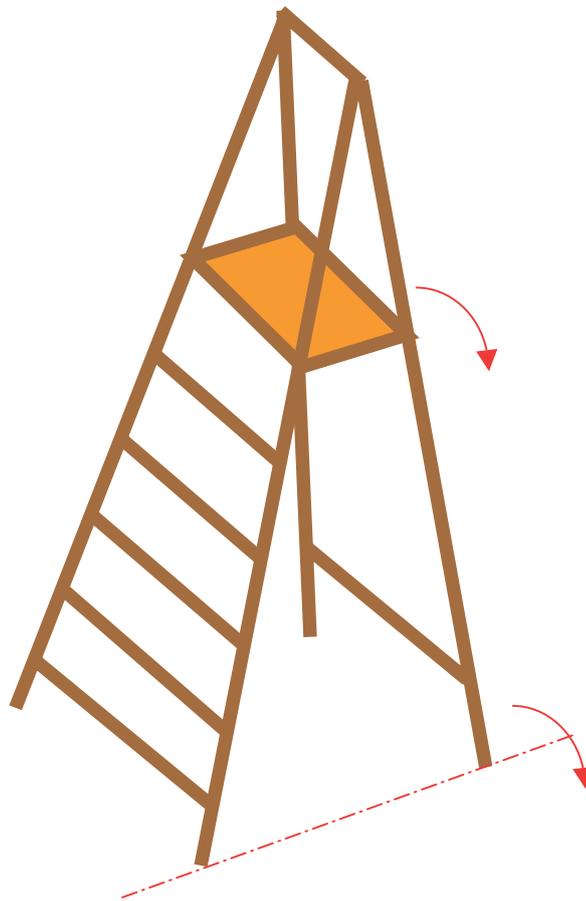


Figura 2.3.1-1 Instabilità laterale al ribaltamento

Per la rappresentazione analitica si veda [Cor-015] paragrafo 2.3.

3 Durabilità

La durabilità di una scala portatile può essere definita come la capacità di questa a conservare i previsti requisiti di resistenza, stabilità, funzionalità e sicurezza, durante tutta la vita operativa attesa, senza richiedere manutenzione straordinaria e ripristino.

Una scala portatile è composta da diversi elementi collegati fra di loro. Tali collegamenti oltre ai requisiti di resistenza e funzionalità devono mantenere durante l'uso i giochi previsti in fase di progetto o comunque essi devono essere tali da rimanere entro tolleranze funzionali atte a garantire la stabilità della scala in condizioni di sicurezza.

A esempio, l'ovalizzazione dei fori delle cerniere di collegamento dei montanti di una scala doppia crea un disallineamento dei tronchi di salita e di supporto (figura 3 - 1), con conseguente appoggio della scala sul pavimento su tre montanti anziché su quattro. In tale condizione, durante la salita dell'operatore e/o durante l'uso, la scala può presentare sia dei movimenti longitudinali e/o laterali improvvisi che di oscillazione, tali da minare la stabilità della stessa.

Per quanto concerne le scale in appoggio, con particolare riferimento a quelle a più tronchi, una maggiore flessione sotto carico potrà derivare dalla deformazione delle interfacce di giunzione fra i vari tronchi, soprattutto se la scala è stata realizzata con i montanti aventi profili aperti (a C).

In ultimo non è da trascurare la consistenza dell'interfaccia gradino/montante.

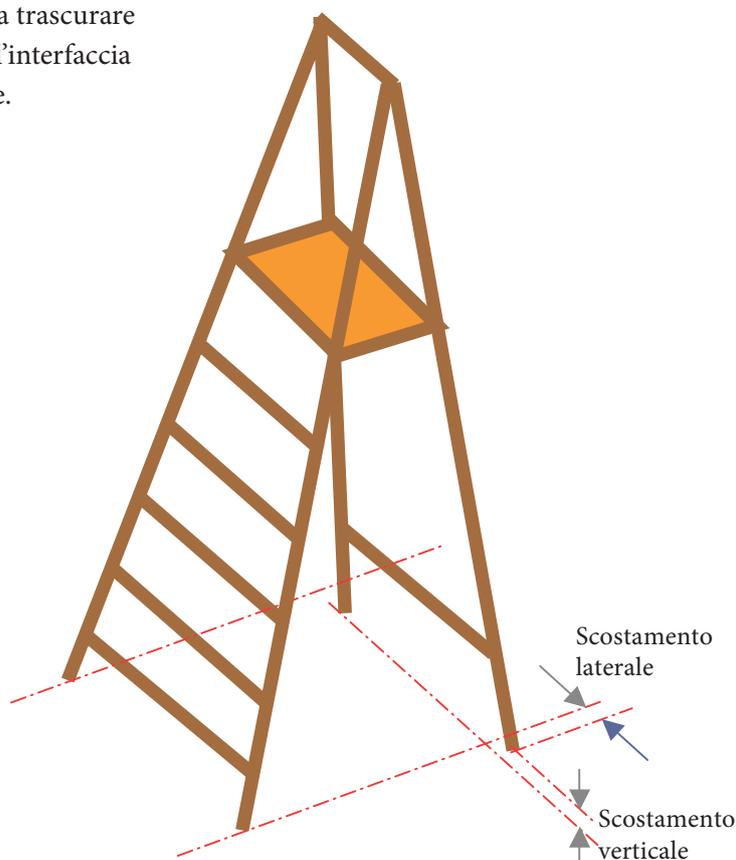


Figura 3-1 Disallineamento tronco di salita e di supporto

4 Prove di stabilità

4.1 Prove di stabilità allo slittamento alla base di una scala in appoggio

La prova di stabilità allo slittamento alla base dovrebbe simulare la posizione di una persona di peso P_p nel punto più sfavorevole su una scala di peso P_s e lunghezza l , posta in appoggio con un angolo α su di una parete verticale e che con la sua attività la persona produce un'azione sulla scala che favorisce lo slittamento alla base della stessa.

Con tale prova si vuole determinare quale forza massima si oppone allo slittamento della scala a contatto con le superfici di prova.

Tale forza è determinata:

- dalle "condizioni di attrito" presenti all'interfaccia scala/superfici di prova che dipendono dalle caratteristiche chimico-fisiche dei materiali, dallo stato di finitura delle superfici a contatto, dai carichi gravanti sulla scala (compreso il peso proprio) e dalla natura statica o dinamica di questi ultimi,
- dall'inclinazione della scala, a esempio rispetto alla superficie orizzontale.

Si sottolinea che una prova di laboratorio è una prova di riferimento che deve avvenire in condizioni standardizzate, essere ripetibile e riproducibile, ma che non replichi esattamente le svariate condizioni che si trovano nell'ambiente di utilizzo.

Una condizione essenziale ai fini della ripetibilità e della riproducibilità è che l'effettuazione della prova di slittamento alla base sia eseguita in assenza di disturbi provenienti dall'ambiente esterno quali, a esempio:

- vibrazioni che poi si propagano sul terreno e/o sulle strutture a contatto con la scala;
- vento;
- forti variazioni termiche.

Eventuali disturbi residui devono essere di intensità tale che l'energia trasmessa alla scala non alteri sensibilmente i risultati di prova.

In tale contesto è importante che qualsiasi carico/forza applicata volutamente alla scala sia di carattere statico o quasi statico.

La metodologia di prova impiegata presenta le seguenti caratteristiche (schema in figura 4.1-1):

- lunghezza della scala: $l = 4$ m;
- inclinazione della scala: $65^\circ \leq \alpha \leq 70^\circ$;
- tamponi di serie inseriti alla base dei montanti se la scala non è di legno;
- tamponi di serie inseriti alla sommità dei montanti se la scala non è di legno;
- ruotini inseriti alla sommità dei montanti se la scala presenta tale soluzione in uso;
- superficie di prova alla base: lastra di acciaio inossidabile (SS = Stainless Steel) di spessore ≥ 2 mm;

- laminato in legno a alta pressione (HPL = High pressure laminate) di spessore ≥ 2 mm;
- superficie di prova alla sommità: come la superficie di appoggio;
- carico F_1 (peso morto = dead weight) applicato al centro del terz'ultimo gradino dalla sommità;
- forza tirante di prova F_2 applicata alla base della scala ad altezza prefissata;
- azione che determina la forza F_2 espletata da una massa d'acqua che si accumula lentamente in un contenitore sospeso mediante un collegamento alla base della scala;
- struttura di sostegno di adeguato peso o fissa;
- temperatura ambientale di prova: $(20 \div 25) ^\circ\text{C}$

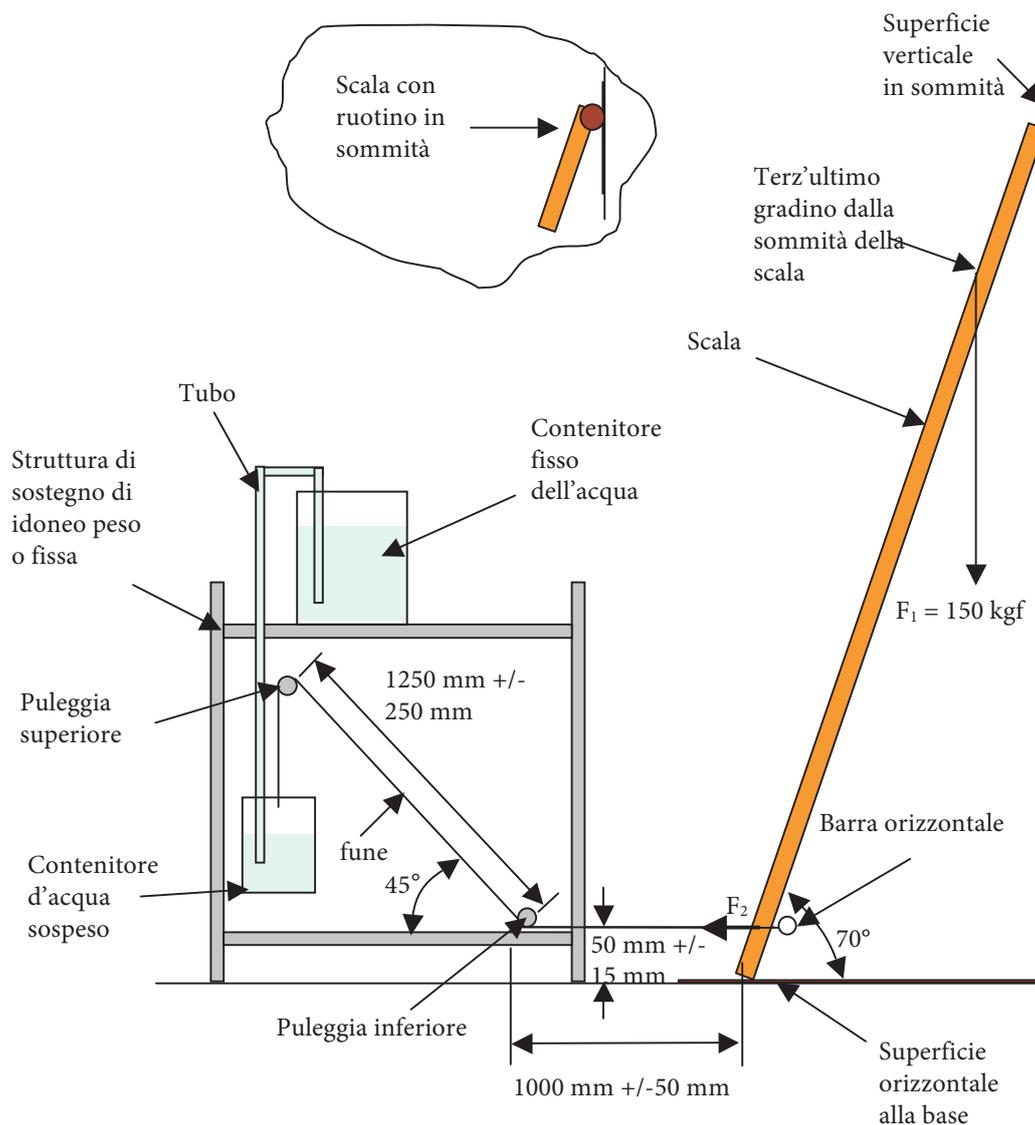


Figura 4.1-1 Schema dell'appontamento della prova

4.1.1 Prove di prima indagine per stabilire idonei fattori di riferimento e condizioni di prova

Al fine di studiare il fenomeno viene condotta una serie di prove di prima indagine:

- facendo variare l'angolo α di inclinazione della scala;
- con la presenza alla sommità della scala di:
 - tamponi in differenti materiali e con differenti geometrie del rilievo della superficie;
 - ruotini in sommità della scala per ridurre l'attrito;
- con la presenza alla base della scala di tamponi in differenti materiali e con differenti geometrie del rilievo della loro superficie;
- con differenti superfici di prova: lamiera di acciaio inossidabile 1.4301, tipo 2B di spessore pari a 2 mm minimo e laminato in legno ad alta pressione conforme alla EN 438-S333 di spessore pari a 2 mm minimo;
- con la presenza della forza di tiro alla base e sua modulazione secondo criteri stabiliti o la sua assenza;
- con la presenza di un peso (dead weight) sul terzultimo gradino o sua la assenza;
- con la presenza di un peso sul terzultimo gradino e il suo aumento progressivo.

La tabella 4.2.1-1 riporta in maniera sintetica le prove di primo approccio effettuate con le modalità sopra esposte.

Sono stati utilizzati n. 7 tamponi in pvc di diversa provenienza:

- il tipo A (n. 5) da fornitore italiano;
- il tipo B (n. 1) da fornitore austriaco;
- il tipo C (n. 1) da fornitore britannico;

La figura 4.1.1 – 1 rappresenta i sette tamponi citati e la relativa durezza Shore A.

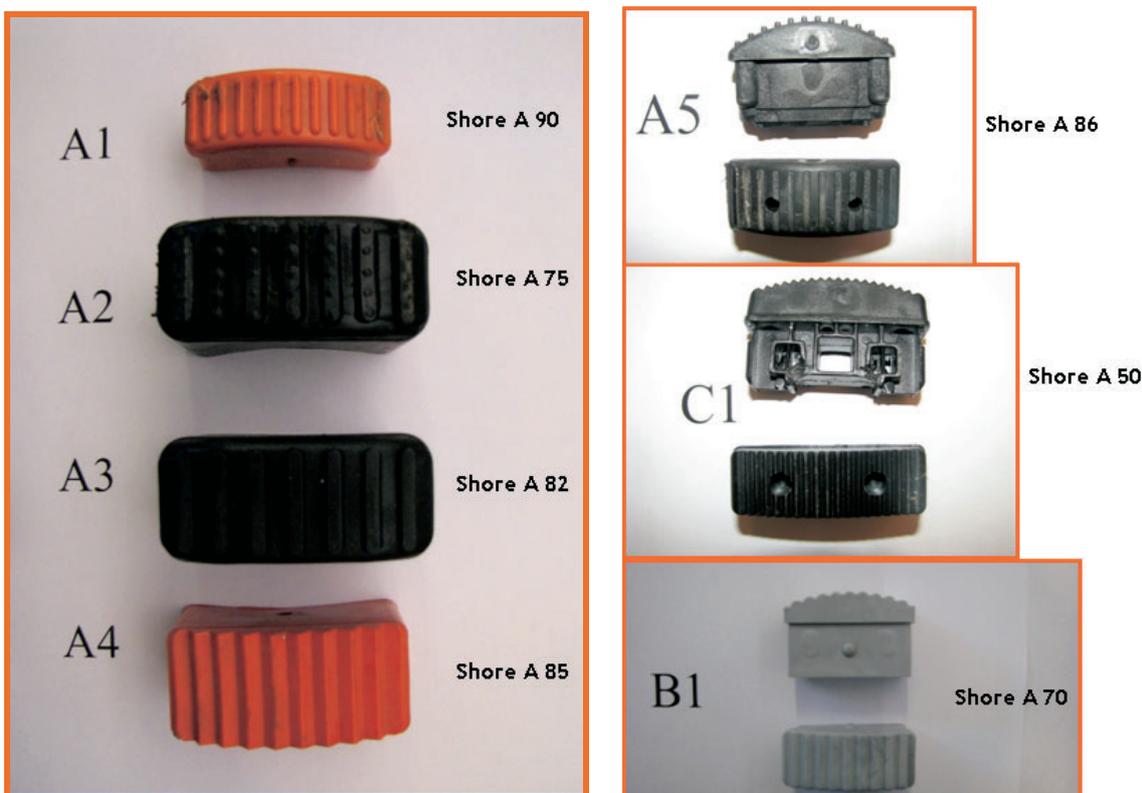


Figura 4.1.1 - 1 Tamponi in pvc e relativa durezza shore A

Le due scale utilizzate sono di lunghezza pari a 4 metri (figura 4.2.1 - 2), la prima a un tronco solo, la seconda con un tronco leggermente più corto di 4 metri e l'aggiunta di un tronchetto per raggiungere la lunghezza di 4 metri. Tale soluzione si è resa necessaria per poter utilizzare i tamponi A5, B1 e C1 che presentavano una interfaccia con la scala diversa da A1, A2 e A3.

La misurazione della distanza di scivolamento è stata effettuata mediante asta graduata in millimetri.

La misurazione della forza di tiro alla base della scala, realizzata con la quantità di acqua travasata in un contenitore o della misura del peso applicato alla scala, è stata effettuata mediante bilancia con sensibilità di 1 grammo.

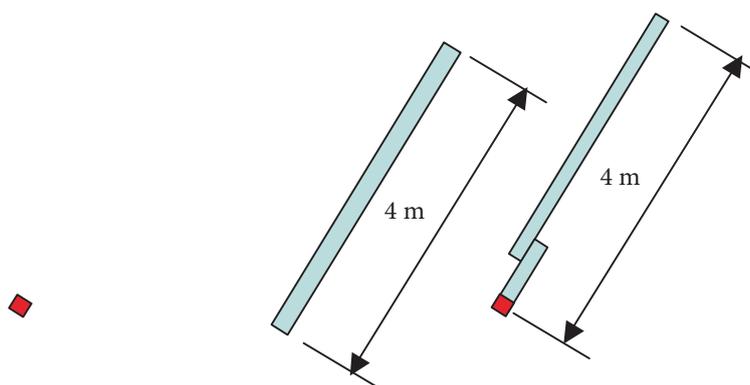


Figura 4.2.1 -1 - Tipi di scale utilizzate nel test di scivolamento alla base

Le figure che seguono illustrano l'attrezzatura utilizzata per la prova ed esempi di scala con relativi particolari.



Figura 4.2.1-2 Scala a tronco unico, superficie alla base in HPL e tiro alla base



Figura 4.2.1-3 Scala con tronchetto, ruotino in sommità, superficie di prova in HPL e tiro alla base



Figura 4.2.1-4 Particolare del ruotino in sommità e del sistema di misurazione della distanza di scivolamento



Figura 4.2.1-5 Prova su scala senza tiro alla base e con aumento progressivo del carico appeso



Figura 4.2.1-6 Scale inclinate a 65° e 70°

Test n.	α	Tampone alla base	Tampone in sommità o ruotino W	Superficie di prova	Aumento a gradini della forza di tiro F2	Forza di tiro F2	Peso morto Pp terzultimo gradino	Slittamento improvviso	NOTE Scala
1	65°	A1	W	HPL	NO	SI	SI fisso	NO	1 tronco
2	65°	A1	A1	HPL	NO	SI	SI fisso	Si o quasi subito	1 tronco
3	65°	A2	A1	HPL	NO	SI	SI fisso	NO	1 tronco
4	65°	A3	A1	HPL	NO	SI	SI fisso	NO	1 tronco
5	65°	A4	A1	HPL	NO	NO	SI fisso	SI	1 tronco
6	65°	A3	W	HPL	NO	SI	SI fisso	NO	1 tronco
7	70°	A3	W	HPL	SI	SI	SI fisso	NO	1 tronco
8	70°	A4	W	HPL	NO	NO	SI fisso	SI	1 tronco
9	70°	A3	W	SS	SI	SI	SI fisso	NO	1 tronco
10	70°	A3	W	SS	SI	SI	SI fisso	NO	1 tronco
11	65°	A5	W	HPL	NO	NO	NO	SI	2 tronchi
12	65°	A5	W	HPL	NO	SI	NO	Quasi subito	2 tronchi
13	70°	A5	W	HPL	NO	SI	NO	Quasi subito	2 tronchi
14	65°	A5	W	HPL	NO	NO	Incremento	NO	2 tronchi
15	65°	B1	W	HPL	NO	NO	SI fisso	NO	2 tronchi
16	65°	B1	W	HPL	NO	SI	SI fisso	NO	2 tronchi
17	65°	C1	W	HPL	NO	NO	SI fisso	NO	2 tronchi
18	65°	C1	W	HPL	NO	SI	SI fisso	NO	2 tronchi

Tabella 4.2.1-1 Riassunto delle prove di scivolamento di prima indagine

Risultati delle prove di prima indagine

I risultati delle prove effettuate vengono riportati nelle schede inserite nell'allegato 1 [Cor-015]. Le osservazioni a partire da [Cor-015, 50].

Conclusioni sulle prove di prima indagine

I risultati delle prove di prima indagine presentano indicazioni favorevoli in merito alla riproducibilità delle prove. La tabella 4.2.1-2 riassume i principali risultati delle prove di scivolamento di primo approccio.

Test n.	α	Tampone alla base	Tampone in sommità o ruotino W	Superficie di prova	Forza di tiro max F2 (daN)	Peso morto Pp terzultimo gradino (daN)	Slittamento improvviso	NOTE Slittamento (mm)
1	65°	A1	W	HPL	6 ÷ 10	50 fisso	NO	50 in 10 min.
2	65°	A1	A1	HPL	3 ÷ 4	50 fisso	Si o quasi subito	50 in 3 min. o slitt.
3	65°	A2	A1	HPL	5 ÷ 7	50 fisso	NO	50 in 3 ÷ 6 min.
4	65°	A3	A1	HPL	10 ÷ 15	50 fisso	NO	50 in 17 ÷ 27 min.
5	65°	A4	A1	HPL	NO	50 fisso	SI	/
6	65°	A3	W	HPL	9 ÷ 13	50 fisso	NO	50 in 13 ÷ 20 min.
7	70°	A3	W	HPL	17	50 fisso	NO	50 in 147 min.
8	70°	A4	W	HPL	NO	50 fisso	SI	/
9	70°	A3	W	SS	21	50 fisso	NO	37 in 237 min.
10	70°	A3	W	SS	19	50 fisso	NO	30 in 173 min. slitt.
11	65°	A5	W	HPL	NO	NO	SI	/
12	65°	A5	W	HPL	4	NO	Quasi subito	0
13	70°	A5	W	HPL	4	NO	Quasi subito	0 ÷ 3 in 6 min.
14	65°	A5	W	HPL	NO	Incremento fino a 35 ÷ 42	NO	54 ÷ 88 in 35 ÷ 42 min. slitt.
15	65°	B1	W	HPL	NO	50 fisso	NO	8 in 10 min.
16	65°	B1	W	HPL	7 ÷ 8	50 fisso	NO	8 ÷ 25 in 13 min. slitt.
17	65°	C1	W	HPL	NO	50 fisso	NO	50 in 13 ÷ 25 min.
18	65°	C1	W	HPL	3 ÷ 4	50 fisso	NO	50 in 9 ÷ 15 min.

Tabella 4.2.1-1 Riassunto delle prove di scivolamento di prima indagine

Da un esame dei grafici e dei risultati si evidenzia:

- una ripetizione dell'andamento dei grafici che mostrano la rappresentatività della legge che governa il fenomeno;
- una sufficiente ripetitività dei risultati, dopo un assestamento del tampone;
- una differenziazione sostanziale tra tamponi con scarsa efficacia, nei confronti dello scivolamento, da quelli migliori;
- un addensamento dei valori della forza di tiro, per ciascuna tipologia di tamponi utilizzati, in base alle condizioni di prova;

- lo slittamento è improvviso o quasi istantaneo già sotto il peso proprio della scala o con forze di tiro al di sotto dei 5 daN e un carico sul terz'ultimo gradino di 50 daN;
- uno slittamento di 50 mm in tempi compresi tra i 5 e i 10 minuti e forze di tiro tra i 5 e i 10 daN;
- uno slittamento di 50 mm in tempi superiori ai 100 minuti e con forze di tiro comprese tra i 15 e 20 daN.

Alla luce dell'esperienza acquisita durante le prove di primo approccio si può passare a una fase di indagine successiva (seconda indagine), introducendo i seguenti criteri sia per la conduzione delle prove sia per i fattori da prendere in considerazione per l'accettazione delle prove:

- appoggiare la scala con un angolo α rispetto all'orizzontale paria a $70^\circ \pm 0.5^\circ$;
- controllare che la scala appoggi con ambedue i montanti alla parete verticale e che il montante abbia un angolo laterale di $90^\circ \pm 1^\circ$ rispetto all'orizzontale;
- prima di iniziare la prova la scala/tampone deve subire un primo assestamento con un carico pari al peso medio di una persona (circa 75 daN);
- per superficie di prova alla base della scala viene scelta la lastra d'acciaio (SS), in quanto meno soggetta a modifiche superficiali di usura;
- per superficie di prova alla sommità della scala viene scelta o la lastra in acciaio inossidabile o un laminato in legno ad alta pressione,
- pulire i tamponi con un panno di cotone umido d'acqua e aspettare che si asciughino.

4.2.2 Prove di seconda indagine

Al fine di studiare sotto vari aspetti il fenomeno in esame è stata condotta una serie di prove di seconda indagine.

In tale contesto sono state effettuate delle prove facendo variare i seguenti fattori e misurando lo slittamento:

- peso morto F_1 sul terzultimo gradino: 50, 100, 125, 150 (daN);
- forza di tiro a incremento continuo a partire da 0.87 daN;
- forza di tiro F_2 : variabile a incremento fisso di 1 daN a partire da 10 daN;
- tempo massimo di prova: 30 minuti;

Sono state utilizzate due tipologie di tamponi applicate ai montanti delle scale A1 e A3.

I risultati delle prove sono riportate nell'allegato 2 [Cor-015].

Conclusioni sulle prove di seconda indagine

I risultati delle prove di seconda indagine mostrano indicazioni favorevoli nei riguardi della riproducibilità delle prove.

La tabella 4.2.2 -1 riporta una sintesi delle prove presentate nell'allegato 2 [Cor-015].

n. prova da... a...	Tampone tipo	Peso Pp applicato al terzultimo gradino (daN)	Tipo di forza di tiro applicata F2	Intensità forza F2 (daN)				Slittamento (mm)	Tempo (s)	Commenti *
				costante	incremento continuo					
					da	a				
		min	max							
1÷5	A3	50	Incremento continuo	/	0.87	11.5	15.8	0 ÷ 5	30	La scala si muove, ma non slitta
6÷13	A3	50	Incremento continuo		0.87	15.3	16.2	10 ÷ 74	30	La scala si muove, ma non slitta
14÷19	A3	50	costante	10	/	/	/	0	30	La scala non si muove
20÷22	A3	50	costante	15	/	/	/	0	30	La scala non si muove
23÷24	A3	50	costante	16 e 17	/	/	/	/	20	La scala si muove e slitta a 20' Dopo 10', 23 mm a 16 daN Dopo 10', 65 mm a 17 daN
25	A3	100	costante	0	/	/	/	0	30	La scala non slitta sotto il peso proprio
26	A3	100	costante	10	/	/	/	0	30	La scala non si muove
27÷28	A3	100	costante	15	/	/	/	/	30	La scala: Dopo 30', 0 mm Dopo 30', 10 mm
29	A3	100	costante	15	/	/	/	10	30	Dopo 18 ore la scala si è mossa di 310 mm
30	A3	100	costante	10	/	/	/	0	30	La scala non si muove (come prova 26)

Tabella 4.2.2 -1 - Sintesi delle prove presentate nell'annesso

(*) Angolo inclinazione della scala uguale a 70°. Superficie di prova: acciaio inox. Peso della scala: 9.28 daN. Fino alla prova 72 stesso tampone A3.

n. prova da... a...	Tampone tipo	Peso Pp applicato al terzultimo gradino (daN)	Tipo di forza di tiro applicata F2	Intensità forza F2 (daN)				Slittamento (mm)	Tempo (s)	Commenti *
				costante	incremento continuo					
					da	a				
						min	max			
31	A3	100	costante	10	/	/	/	0	30	Dopo 48 ore la scala non si è mossa
32÷34	A3	100	costante	11-12-13	/	/	/	0	30	La scala non si muove durante i tiri a 11 daN, 12 daN, 13 daN
35	A3	100	costante	14	/	/	/	2	30	Dopo 48 ore la scala si è mossa di 3 mm
36÷52	A3	125	costante	10÷26	/	/	/	0	30	La scala non si muove. Forza di tiro costante per ogni singola prova. Ogni prova incrementa di 1 daN. In tutte le 17 prove lo slittamento è di 0 mm dopo 30 minuti
53	A3	125	costante	27	/	/	/	50	10	La scala inizia a muoversi lentamente

Tabella 4.2.2 -1 - Sintesi delle prove presentate nell'annesso

(*) Angolo inclinazione della scala uguale a 70°. Superficie di prova: acciaio inox. Peso della scala: 9.28 daN. Fino alla prova 72 stesso tampone A3.

n. prova da... a...	Tampone tipo	Peso Pp applicato al terzultimo gradino (daN)	Tipo di forza di tiro applicata F2	Intensità forza F2 (daN)				Slittamento (mm)	Tempo (s)	Commenti *
				costante	incremento continuo					
					da	a				
		min	max							
54÷56	A3	150	costante	25÷27	/	/	0	/	30	La scala non si muove. Forza di tiro costante per ogni singola prova. Ogni prova incrementa di 1 daN. In tutte le 3 prove lo slittamento è di 0 mm dopo 30 minuti
57	A3	150	costante	28	/	/	/	/	/	La scala inizia a slittare subito.
58÷59	A3	50	costante	14	/	/	/	/	/	La scala inizia a slittare dopo 2 minuti.
60÷61	A3	50	costante	10÷11	/	/	/	0	30	La scala non si muove. Ogni prova incrementa di 1 daN.
62	A3	50	costante	12	/	/	/	/	/	La scala inizia a muoversi e slittare subito
62	A3	50	costante	12	/	/	/	/	/	La scala inizia a muoversi e slittare subito

Tabella 4.2.2 -1 - Sintesi delle prove presentate nell'annesso

(*) Angolo inclinazione della scala uguale a 70°. Superficie di prova: acciaio inox. Peso della scala: 9.28 daN. Fino alla prova 72 stesso tampone A3.

n. prova da... a...	Tampone tipo	Peso Pp applicato al terzultimo gradino (daN)	Tipo di forza di tiro applicata F2	Intensità forza F2 (daN)				Slittamento (mm)	Tempo (s)	Commenti *
				costante	incremento continuo					
					da	a				
					min	max				
63÷68	A3	75	costante	12÷17	/	/	/	0	30	La scala non si muove. Forza di tiro costante per ogni singola prova. Ogni prova incrementa di 1 daN. In tutte le 6 prove lo slittamento è di 0 mm dopo 30 minuti
69	A3	75	costante	18	/	/	/	/	/	La scala si muove di 30 mm in 4', poi slitta.
70÷71	A3	100	costante	18÷19	/	/	/	0	30	La scala non si muove. Ogni prova incrementa di 1 daN.
72	A3	100	costante	20	/	/	/	/	/	La scala si muove di 40 mm in 3', poi slitta.
73	A3	100	costante	18	/	/	/	0	30	Vengono sostituiti i tamponi A3 usati fino alla prova n. 72 con tamponi A3 nuovi. La scala non si muove.

Tabella 4.2.2 -1 - Sintesi delle prove presentate nell'annesso

(*) Angolo inclinazione della scala uguale a 70°. Superficie di prova: acciaio inox. Peso della scala: 9.28 daN. Fino alla prova 72 stesso tampone A3.

n. prova da... a...	Tampone tipo	Peso Pp applicato al terzultimo gradino (daN)	Tipo di forza di tiro applicata F2	Intensità forza F2 (daN)				Slittamento (mm)	Tempo (s)	Commenti *
				costante	incremento continuo					
					da	a				
						min	max			
74	A3	100	costante	19	/	/	/	/	/	La scala slitta dopo 1 minuto.
75	A3	125	costante	19	/	/	/	/	/	Dopo 22 minuti con uno scorrimento di 35 mm, la fune del tiro si spezza. La prova viene interrotta.
76	A3	125	costante	19	/	/	/	24	30	La scala si muove, ma non slitta.
77	A3	125	costante	20	/	/	/	22	30	La scala si muove, ma non slitta.
78	A3	125	costante	21	/	/	/	35	30	La scala si muove, ma non slitta.
79÷81	A3	150	costante	21	/	/	/	30÷60	30	La scala si muove, ma non slitta.
82	A1	50	costante	0	/	/	/	0	5	La scala non si muove.
83	A1	50	costante	10	/	/	/	/	/	La scala slitta immediatamente
84	A1	50	costante	13	/	/	/	/	/	La scala slitta immediatamente
85	A1	50	costante	5	/	/	/	0	5	La scala non si muove.

Tabella 4.2.2 -1 - Sintesi delle prove presentate nell'annesso

(*) Angolo inclinazione della scala uguale a 70°. Superficie di prova: acciaio inox. Peso della scala: 9.28 daN. Fino alla prova 72 stesso tampone A3. A partire dalla prova 82 si sostituiscono i tamponi A3 con quelli A1

n. prova da... a...	Tampone tipo	Peso Pp applicato al terzultimo gradino (daN)	Tipo di forza di tiro applicata F2	Intensità forza F2 (daN)				Slittamento (mm)	Tempo (s)	Commenti*
				costante	incremento continuo					
					da	a				
						min	max			
86	A1	50	costante	6	/	/	/	15	0.5	La scala slitta subito poi si ferma.
87	A1	50	costante	6	/	/	/	/	/	La scala non si muove
88	A1	50	costante	7	/	/	/	2	5	La scala si muove ma non slitta.
89÷90	A1	50	costante	8÷9	/	/	/	0	5	La scala non si muove. Ogni prova incrementa di 1 daN.
91÷93	A1	50	costante	10	/	/	/	/	/	La scala slitta immediatamente
94	A1	75	costante	0	/	/	/	0	5	La scala non si muove.
95÷98	A1	75	costante	10	/	/	/	/	/	La scala slitta immediatamente
99	A1	75	costante	9	/	/	/	0	5	La scala non si muove.
100	A1	100	costante	9	/	/	/	0	5	La scala non si muove.
101	A1	100	costante	10	/	/	/	2	7	La scala si muove ma non slitta.
102÷105	A1	100	costante	11÷14				0÷2	5	La scala si muove ma non slitta.
106÷108	A1	100	costante	15	/	/	/	/	/	La scala slitta immediatamente.
109	A1	150	costante	15	/	/	/	/	/	La scala slitta immediatamente.

Tabella 4.2.2 -1 - Sintesi delle prove presentate nell'annesso

(*) Angolo inclinazione della scala uguale a 70°. Superficie di prova: acciaio inox. Peso della scala: 9.28 daN. Fino alla prova 72 stesso tampone A3. A partire dalla prova 82 si sostituiscono i tamponi A3 con quelli A1

Dalla tabella 4.2.2-1 emergono alcuni risultati che si possono riassumere nella tabella 4.2.2-2.

Peso Pp applicato al terzultimo gradino (daN)	Tipo di tampone	Intensità forza di tiro F2 minima alla quale la scala non si muove (daN)
50	A3	15
75	A3	17
100	A3	18
125	A3	26
150	A3	27
50	A1	9
75	A1	9
100	A1	9
150	A1	14

Tabella 4.2.2-2 Intensità F2 minima alla quale la scala non si muove

I dati mostrano la differenza di comportamento di due tamponi diversi (A3 e A1): il tipo A3 ha un comportamento decisamente migliore nei riguardi della resistenza allo slittamento sulla superficie di prova rispetto al tipo A1.

Nell'ambito di una stessa tipologia di tampone si evidenzia che, all'aumentare del peso Pp applicato al terzultimo gradino, la forza di tiro F2 necessaria a far muovere la scala aumenta in accordo alla relazione $F2 = \mu Pp$.

Tale comportamento è maggiormente rappresentato con il tampone migliore A3.

Pertanto, ai fini di una migliore riproducibilità e ripetibilità della prova si prende in considerazione l'applicazione di un carico $Pp = 150$ daN.

Un possibile valore discriminante per la scelta di F2 minimo, come criterio passa/non passa, potrebbe essere un valore compreso tra 10 daN e 15 daN.

Considerazioni sulla procedura di prova di seconda indagine.

Alla luce dell'esperienza acquisita durante le prove di seconda indagine si può passare a una fase di indagine successiva, introducendo i seguenti criteri sia per la conduzione delle prove secondo lo schema dell'approntamento prova di figura 4.1-1.:

- appoggiare la scala con un angolo α rispetto all'orizzontale paria a $70^\circ \pm 0.5^\circ$;

- controllare che la scala appoggi con ambedue i montanti alla parete verticale e che il montante abbia un angolo laterale di $90^\circ \pm 1^\circ$ rispetto all'orizzontale;
- prima di iniziare la prova la scala/tampone deve subire un primo assestamento con un carico pari al peso medio di una persona (circa 75 daN);
- la prova può essere iniziata con una forza di tiro pari a 5 daN, considerando questo valore un primo criterio di accettazione della scala/tampone per eseguire o meno il test;
- per superficie di prova alla base della scala viene scelta la lastra di acciaio (SS) grado 2B, in quanto meno soggetta a modifiche superficiali di usura;
- per superficie di prova alla sommità della scala viene scelta o la lastra in acciaio inossidabile o un laminato in legno ad alta pressione;
- i ruotini in sommità alla scala vengono usati durante la prova quando sono a corredo della scala;
- pulire i tamponi con un panno di cotone umido d'acqua e aspettare che si asciughino;
- pulire le superfici di prova con un panno di cotone umido d'acqua e aspettare che si asciughino.

La prova deve essere condotta secondo la procedura seguente:

- 1) Posizionare la scala come descritto in precedenza;
- 2) Posizionare il righello per la misura dello spostamento con riferimento al montante;
- 3) Bloccare la base della scala per prevenire il suo slittamento prima di applicare il peso Pp al centro del terzultimo gradino;
- 4) Aspettare 2 minuti. Durante questo periodo registrare la temperatura dell'aria vicino al tampone (distanza minore o uguale a 100 mm).
- 5) Applicare una forza orizzontale F2 di 5 daN, rilasciare il blocco della scala;
- 6) Aggiungere acqua nel contenitore con una portata inferiore a $3 \text{ l/min} \pm 0,2 \text{ l/min}$;
- 7) Osservare il piede del montante e monitorare il movimento rispetto al righello;
- 8) Assicurarci che la superficie di prova rimanga ferma sotto l'azione della scala;
- 9) Quando la scala si è mossa di 40 mm fermare la prova;
- 10) Fermare l'ingresso dell'acqua nel contenitore;
- 11) Sollevare la scala dalla superficie di prova e mantenerla sospesa da 10 a 15 minuti tra due prove successive;
- 12) Pesare il contenitore con l'acqua introdotta e fornire il valore di F2;
- 13) Pulire il tampone della scala con un panno umido di acqua e aspettare che si asciughi;
- 14) Pulire la superficie di prova con un panno umido di acqua e aspettare che si asciughi;
- 15) La prova deve essere ripetuta quattro volte a partire dal punto 1;
- 16) Registrare i dati di prova e della scala secondo la tabella 4.2.2-3;
- 17) Elaborare statisticamente come descritto in tabella 4.2.2-3.

4.2.3 Scelta della superficie di prova

Si veda [Cor-015].

4.2.4 Prove condotte in accordo alla procedura del paragrafo 4.2.2

Le prove che seguono sono condotte in accordo alla procedura predisposta nel paragrafo 4.2.2, finalizzate alla conferma della ripetibilità e riproducibilità della prova.

Le tabelle 4.2.4-1 e 4.2.4-2 mostrano i risultati delle prove di slittamento eseguite su una superficie trattata con carta abrasiva secondo la procedura standardizzata.

Tipo di scala UK	Lunghezza della scala (m) 4.02	Larghezza del montante (mm) 25	Profondità del montante (mm) 88	Peso della scala (daN) 9.40
Informazione sul tipo di tampone: tampone giallo				
Provino n. 1	F ₂ quando il montante/tamp one si è mosso di 40 mm minimo (daN)	Angolo di appoggio α (°)	Angolo laterale γ (°)	Commenti
Prova n.				
1	16.0	70.3	89.9	1° movimento 15 mm dopo 0.5 min; slittamento dopo 18 min
2	16.3	70.3	90.1	1° movimento 4 mm dopo 15 min; slittamento dopo 20 min
3	16.1	70.1	89.9	1° movimento 13 mm dopo 9 min; slittamento dopo 17 min
4	18.5	70.1	90.0	1° movimento 21 mm dopo 12 min; slittamento dopo 24 min
Media	16.7			
Provino n. 2	F ₂ quando il montante/tamp one si è mosso di 40 mm minimo (daN)	Angolo di appoggio α (°)	Angolo laterale γ (°)	Commenti
Prova n.				
1	21.5	70.1	89.9	Nessun 1° movimento; slittamento dopo 28 min
2	16.2	69.9	90.0	1° movimento 30 mm dopo 15 min; slittamento dopo 18 min
3	17.0	70.1	89.9	1° movimento 5 mm dopo 0.5 min; slittamento dopo 19 min
4	21.8	70.2	89.8	1° movimento 38 mm dopo 18 min; slittamento dopo 29 min
Media	19.1			
Media totale	17.9	Media totale su 8 misure		
STDV	2.4	STDEV su 8 misure		
Lamiera SS grado 2G (Rif. TG 12a/2) con superficie abrasa				

Tabella 4.2.4-1 Risultato prove con scala/tampone UK su superficie trattata con carta abrasiva

Tipo di scala DE	Lunghezza della scala (m) 4.10	Larghezza del montante (mm) 25	Profondità del montante (mm) 75	Peso della scala (daN) 9.15
Informazione sul tipo di tampone: tampone giallo				
Provino n. 1	F ₂ quando il montante/tamp one si è mosso di 40 mm minimo (daN)	Angolo di appoggio α (°)	Angolo laterale γ (°)	Commenti
Prova n.				
1	22.1	70.4	90.7	1° movimento 10 mm dopo 9 min Slittamento dopo 20 min
2	25.2	70.1	90.8	Nessun movimento; Slittamento dopo 26 min
3	26.0	70.3	90.9	Nessun movimento; Slittamento dopo 26 min
4	24.9	70.3	90.6	Nessun movimento; Slittamento dopo 25 min
Media	24.6			
Provino n. 2	F ₂ quando il montante/tamp one si è mosso di 40 mm minimo (daN)	Angolo di appoggio α (°)	Angolo laterale γ (°)	Commenti
Prova n.				
1	22.3	70.2	90.5	Nessun 1° movimento; slittamento dopo 23 min
2	23.2	70.4	90.6	Nessun movimento; Slittamento dopo 24 min
3	24.1	70.3	90.7	Nessun movimento; Slittamento dopo 25 min
4	22.0	70.3	90.4	Nessun movimento; Slittamento dopo 23 min
Media	22.9			
Media totale	23.7	Media totale su 8 misure		
STDV	1.5	STDEV su 8 misure		
Lamiera SS grado 2G (Rif. TG 12a/2) con superficie abrasa				

Tabella 4.2.4-2 Risultato prove con scala/tampone DE su superficie trattata con carta abrasiva

Le tabelle 4.2.4-3 e 4.2.4-4 mostrano i risultati delle prove di slittamento eseguite su una superficie non abrasa e impiegata come ricevuta dal fabbricante.

Tipo di scala UK	Lunghezza della scala (m) 4.02	Larghezza del montante (mm) 25	Profondità del montante (mm) 88	Peso della scala (daN) 9.40
Informazione sul tipo di tampone: tampone giallo				
Provino n. 1	F ₂ quando il montante/tamp one si è mosso di 40 mm minimo (daN)	Angolo di appoggio α (°)	Angolo laterale γ (°)	Commenti
Prova n.				
1	12.5	70.2	90.1	Nessun 1° movimento; slittamento dopo 15 min
2	11.2	70.1	89.7	Nessun movimento; Slittamento dopo 13 min
3	11.6	70.0	90.2	Nessun movimento; Slittamento dopo 14 min
4	14.6	69.9	91.2	Nessun movimento; Slittamento dopo 12 min
Media	12.5			
Provino n. 2	F ₂ quando il montante/tamp one si è mosso di 40 mm minimo (daN)	Angolo di appoggio A (°)	Angolo laterale γ (°)	Commenti
Prova n.				
1	14.2	70.2	89.9	Nessun 1° movimento; slittamento dopo 15 min
2	14.5	70.1	90.1	Nessun movimento; Slittamento dopo 14 min
3	13.8	69.9	89.7	Nessun movimento; Slittamento dopo 12 min
4	11.7	70.1	90.0	Nessun movimento; Slittamento dopo 13 min
Media	13.6			
Media totale	13.0	Media totale su 8 misure		
STDV	1.4	STDEV su 8 misure		
Lamiera SS grado 2B (Piatto n°1) con superficie non abrasa				

Tabella 4.2.4-3 Risultato prove con scala/tampone UK su superficie non abrasa

Tipo di scala DE	Lunghezza della scala (m) 4.02	Larghezza del montante (mm) 25	Profondità del montante (mm) 88	Peso della scala (daN) 9.40
Informazione sul tipo di tampone: tampone giallo				
Provino n. 1	F ₂ quando il montante/tamp one si è mosso di 40 mm minimo (daN)	Angolo di appoggio α (°)	Angolo laterale γ (°)	Commenti
Prova n.				
1	25.0	70.1	90.2	1° movimento 2 mm dopo 16 min; slittamento dopo 26 min
2	24.9	69.9	90.3	1° movimento 3 mm dopo 12 min; slittamento dopo 21 min
3	23.1	70.2	90.1	1° movimento 2 mm dopo 10 min; slittamento dopo 18 min
4	24.4	70.0	90.2	1° movimento 2 mm dopo 7 min; slittamento dopo 19 min
Media	24.4			
Provino n. 2	F ₂ quando il montante/tamp one si è mosso di 40 mm minimo (daN)	Angolo di appoggio α (°)	Angolo laterale γ (°)	Commenti
Prova n.				
1	24.9	70.1	90.3	1° movimento 2 mm dopo 12 min; slittamento dopo 22 min
2	23.1	70.2	90.1	Nessun movimento; Slittamento dopo 19 min
3	24.9	69.9	90.2	1° movimento 2 mm dopo 7 min; slittamento dopo 21 min
4	24.7	70.0	90.2	Nessun movimento; Slittamento dopo 23 min
Media	24.4			
Media totale	24.4	Media totale su 8 misure		
STDV	0.8	STDEV su 8 misure		
Lamiera SS grado 2B (Piatto n° 2) con superficie non abrasa				

Tabella 4.2.4-4 Risultato prove con scala/tampone DE su superficie non abrasa

Le prove effettuate su superficie della lamiera non abrasa, impiegata così come ricevuta dal fabbricante, mostrano una deviazione standard più contenuta della forza orizzontale F_2 (1.4 e 0.8) rispetto a quelle effettuata con superficie abrasa (2.4 e 1.5).

Si ritiene che la superficie trattata con carta abrasiva, per quanto effettuata con cura, risenta della variazione della pressione della mano durante l'applicazione, come evidenziato in precedenza.

Inoltre, tali ulteriori 4 set di prove indicano che una possibile scelta del valore di F_2 minimo, da utilizzare come criterio passa/non passa, potrebbe essere compresa tra 10 daN e 15 daN.

4.3 Prove con altre tipologie di instabilità

L'esame delle modalità di instabilità, per le scale in appoggio e delle relative equazioni presentate nel capitolo 2.2 per quelle in appoggio e capitolo 2.3 per quelle doppie, rivela che il miglioramento della stabilità è legato soprattutto alla geometria della scala in aggiunta alla presenza dei giochi fra le connessioni degli elementi che le compongono.

Pertanto, dopo aver eseguito alcuni test (figura 4.3 - 1) condotti a guisa d'investigazione preliminare si decide di non procedere ulteriormente con le prove di slittamento laterale in sommità e rotazione intorno a un montante, per le scale in appoggio, e con le prove di ribaltamento laterale, per le scale doppie, in quanto il miglioramento della stabilità va attuato con l'introduzione di accessori (es.: barre stabilizzatrici alla base o in sommità). Essi vanno studiati opportunamente per l'applicazione specifica in maniera tale da modificare la geometria e introdurre momenti stabilizzanti sempre maggiori, pur mantenendo un'adeguata brandeggiabilità della scala.

Tale approccio viene anche attuato a livello di gruppo di lavoro normativo del CEN.

Si è potuto così avere a disposizione più tempo per la messa a punto delle prove relative all'instabilità allo slittamento alla base delle scale in appoggio raggiungendo un buon risultato ai fini della ripetibilità e riproducibilità della prova stessa.



Figura 4.3 - 1 Prova di instabilità laterale su scala doppia

5 Prove di durabilità

5.1 Generalità

Le prove di durabilità vengono eseguite secondo i criteri riportati nel paragrafo 5.2.

La scelta dei modelli di scala da sottoporre a prova è stata effettuata prendendo in considerazione il materiale costituente la scala, le tipologie di scala e il fissaggio dei gradini ai montanti.

I materiali presi in esame sono l'acciaio e le leghe di alluminio, le tipologie di scala esaminate sono state la doppia, quella semplice in appoggio e quella a tre tronchi trasformabile (in appoggio e doppia).

I fissaggi dei gradini ai montanti considerati sono stati la rivettatura e la ribordatura.

La prova di durabilità viene considerata come una prova di condizionamento della scala e, se essa supera il criterio di accettazione relativo al test di durabilità, viene poi sottoposta a una prova di resistenza al carico prestabilito secondo la norma UNI EN 131 parte 2a, paragrafo 5.2 (*strength test of the style*) per le scale in appoggio e paragrafo 5.8 (*test of opening restraints and hinges of standing ladders*) per quelle doppie.

La metodologia di prova e il criterio di accettazione in studio comportano quindi un test di condizionamento (durabilità) seguito da una prova di resistenza, se il primo viene superato.

Uno degli scopi della ricerca è individuare anche il numero di cicli massimo cui sottoporre la scala, come prova di condizionamento.

La procedura utilizzata è la seguente:

- 1) Effettuare la prova di durabilità fino al numero di cicli massimo prefissato.
- 2) Dopo la prova di durabilità verificare il seguente criterio di accettazione:
 - nessun danno visibile alle cerniere, ai perni e loro sedi, agli elementi di connessione, ai dispositivi contro l'apertura, agli elementi portanti;
 - deformazioni permanenti sono ammesse solo se non compromettono l'idoneità all'uso della scala.
- 3) Se la scala supera il criterio di durabilità:
 - sottoporre la scala alla prova di resistenza del paragrafo 5.2 (UNI EN 131-2), se la scala è in appoggio;
 - sottoporre la scala alla prova di resistenza al paragrafo 5.8 (UNI EN 131-2), se la scala è doppia.
- 4) Dopo la prova di resistenza verificare il seguente criterio di accettazione:
 - nessun danno visibile alle cerniere, ai perni e loro sedi, agli elementi di connessione, ai dispositivi contro l'apertura, agli elementi portanti;
 - deformazioni permanenti sono ammesse solo se non compromettono l'idoneità all'uso della scala.

5.2 Requisiti e procedura di prova di durabilità della scala doppia

Le prove di durabilità vengono eseguite secondo il documento riportato nell'allegato 3 [Cor-015].

Questo documento è stato redatto dal referente del laboratorio sulla base di esperienze effettuate nella presente ricerca e proposto poi al gruppo di lavoro europeo CEN/TC93/WG10 (Scale portatili - Miglioramento della norma EN 131-2:2010). Attualmente, il documento è individuato al CEN con il codice TC 93 WI 00093189 e il titolo "*Standing ladder test specification*".

Lo schema di principio del test è rappresentato in figura 5.2-1.

La scala è posta in posizione di uso su una superficie di prova in acciaio inossidabile, con i quattro montanti vincolati a una parte fissa mediante degli elastici, per prevenire il progressivo movimento della scala sotto l'azione del carico.

Due carichi uguali (150 daN) vengono applicati alternativamente in due punti della scala seguendo un ben definito profilo di carico in funzione del tempo (da 0 daN a 150 daN in 1 secondo nella fase di carico e da 150 daN a 0 daN in 1 secondo nella fase di scarico). Il carico P_1 è applicato sulla piattaforma o sul gradino più alto e il carico P_2 all'estremità del gradino posto al centro della scala (in figura 5.2-2).

Il ciclo del carico P_1 (2.0 s) sommato al ciclo del carico P_2 (2.0 s) costituisce il ciclo (4.0 s) di durabilità.

L'applicazione dei carichi continua fin quando è possibile mantenere il valore di 150 daN o fino alla rottura della scala. Il numero dei cicli in corrispondenza di questi eventi definisce il numero di cicli massimo sopportabile dalla scala.

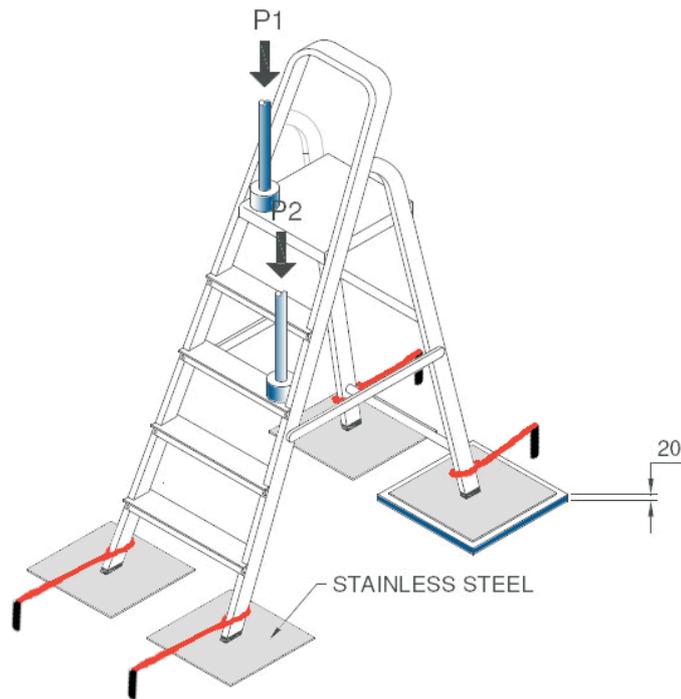


Figura 5.2 -1 Schema di principio del test di durabilità per le scale portatili

L'esecuzione delle prove secondo la procedura è stata resa possibile a seguito di un'accurata e minuziosa messa a punto della procedura mediante l'effettuazione di numerose prove di calibrazione del sistema macchina-scala.

P = P₁ cylinder - - - - -
 P = P₂ cylinder ————

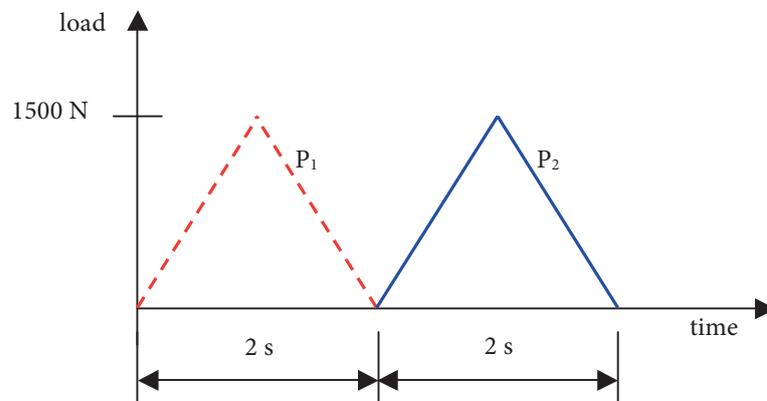


Figura 5.2 - 2 Schema sequenza di carico

La figura 5.2 – 3 mostra l'attrezzatura di prova impiegata per le prove di durabilità.



Figura 5.2 – 3 - Attrezzatura di prova per test di durabilità

5.3 Risultati di prova di durabilità

I dettagli dei risultati di prova sono riportati nell'allegato 4 [Cor-015].

Le prove di durabilità condotte nel punto 5.3.1 vengono eseguite fino al collasso o alla rottura della scala, al fine di individuare un possibile valore di numero massimo di cicli, utile per il condizionamento della scala, prima che questa arrivi a collasso per fatica ciclica.

Per collasso della scala s' intende che essa non reagisce più al carico a cui è sottoposta dal pistone.

5.3.1 Scala doppia

A. Fabbricante S

Per il fabbricante S sono stati presi in considerazione tre modelli di scala doppia e per ognuno di essi effettuate 3 prove di durabilità, ciascuna eseguita su differenti esemplari di scala, per un totale di 9 prove (schema figura 5.3.1-1).

Le scale in prova sono a un tronco di salita, 5 gradini + piattaforma, in lega di alluminio la scala e in laniera di acciaio la piattaforma. Le scale sono dichiarate dal fabbricante rispondenti alla UNI EN 131 e al D.lgs. 81/08.

Vengono effettuate solo prove di durabilità.

A.1 Modello SC

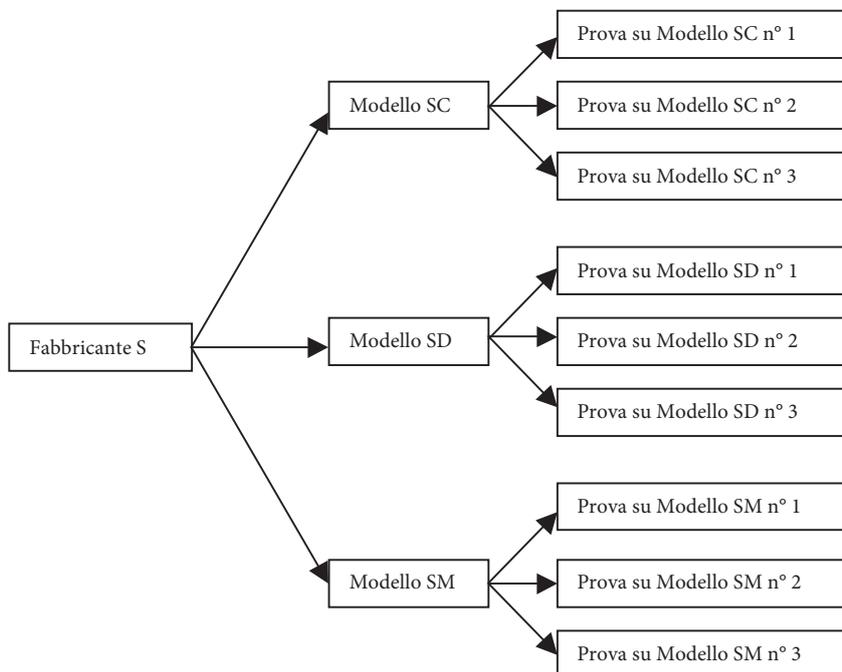


Figura 5.3.1-1 - Schema di esecuzione delle prove in relazione al modello e al numero di scale



Figura 5.3.1-2 - Scala modello SC

L'inizio della cricca sul gradino avviene quando esso è sollecitato tra i 12000 e i 21000 cicli mentre il carico di collasso massimo è intorno ai 38000 cicli.

A.2 Modello SD

Viene adottato lo stesso schema del modello SC per l'esecuzione delle prove in relazione al modello e al numero di scale.

Le scale sono dichiarate dal fabbricante rispondenti alla UNI EN 131 e al D.lgs. 81/08.

Sugli esemplari n. 1 e n. 2 l'inizio delle deformazioni permanenti avviene a circa 4000 cicli; l'inizio della rottura del punto di saldatura del gradino a circa 25500 cicli; il carico di collasso si raggiunge intorno a 25500 cicli. Si rileva infine l'ovalizzazione del foro che accoglie la barra anteriore di supporto della piattaforma.

Sugli esemplari n. 3 l'inizio della rottura del punto di saldatura del gradino avviene a 27870 cicli; il carico di collasso si raggiunge a 31250 cicli. Si rileva infine l'ovalizzazione del foro che accoglie la barra anteriore di supporto della piattaforma a 20000 cicli.



Figura 5.3.1- 3 Scala modello SD

A.3 Modello SM

Viene adottato lo stesso schema del modello SC per l'esecuzione delle prove in relazione al modello e al numero di scale.

Le scale sono dichiarate dal fabbricante rispondenti alla UNI EN 131 e al D.lgs. 81/08.

La piattaforma è in PVC.

Sui tre esemplari l'inizio di una leggera deformazione della piattaforma e del tubo che la sorregge avviene a circa 1500 cicli; il carico di collasso non è stato mai raggiunto a 50000 cicli; a 50000 cicli la freccia massima della piattaforma è compresa tra 12 e 17 mm.



Figura 5.3.1- 4 Scala modello SD

B. Fabbricante U

Per il fabbricante U sono stati presi in considerazione due modelli di scala doppia, uno di classe 1 e uno di classe 3. Per ciascuna classe sono stati testati due esemplari.

La scala di classe 1 (con caratteristiche migliori rispetto alla classe 3) è a un tronco di salita, 5 gradini + piattaforma, in lega di alluminio la scala e in lamiera di acciaio la piattaforma. La scala è dichiarata dal fabbricante rispondente alla norma BS 2037 per la classe 1.

La scala di classe 3 (con caratteristiche più basse rispetto alla classe 1) è a un tronco di salita, 4 gradini + piattaforma, in lega di alluminio la scala e in lamiera di acciaio la piattaforma. La scala è dichiarata dal fabbricante rispondente alla norma BS 2037 per la classe 3.

Vengono effettuate solo prove di durabilità.

B.1 Modello U1 - Classe 1

Sono state effettuate 2 prove di durabilità su due esemplari differenti.

Sull'esemplare n. 1 l'inizio della cricca avviene sullo spigolo della piattaforma lato del carico a 140 cicli; la crescita della cricca, la cui lunghezza raggiunge i 250 mm, a 37910 cicli; il carico di collasso si raggiunge a 37910 cicli.

Sull'esemplare n. 2 l'inizio della cricca avviene sullo spigolo della piattaforma lato del carico a 480 cicli; la crescita della cricca, la cui lunghezza raggiunge i 100 mm, a 37520 cicli; il carico di collasso si raggiunge a 37520 cicli.



Figura 5.3.1- 5 Scala modello U1 classe 1 BS 2037

B.1 Modello U2 - Classe 3

Sono state effettuate 2 prove di durabilità su due esemplari differenti.

Sull'esemplare n. 1 si verifica una leggera deformazione della piattaforma a 1000 cicli; l'inizio della rottura della piattaforma a partire dallo spigolo in prossimità del carico a 2000 cicli; la rottura totale della piattaforma e uscita della barra dalla sede a 4350 cicli; il carico di collasso si raggiunge a 4350 cicli.

Sull'esemplare n. 2 si verifica una leggera deformazione della piattaforma a 1000 cicli; l'inizio della rottura della piattaforma a partire dallo spigolo in prossimità del carico a 2000 cicli; la rottura totale della piattaforma e uscita della barra dalla sede a 3140 cicli; il carico di collasso si raggiunge a 3140 cicli.



Figura 5.3.1- 6 Scala modello U2 classe 3 BS 2037

C. Fabbricante F

Per il fabbricante F è stato preso in considerazione un modello di scala doppia e su questa eseguita una prova di durabilità seguita da una di resistenza.

La scala in prova è a un tronco di salita, 5 gradini + piattaforma, in lega di alluminio e piattaforma in alluminio pressofuso. La scala è dichiarata dal fabbricante rispondente alla UNI EN 131.

Sull'esemplare l'inizio della cricca nella zona centrale della piattaforma avviene a 8000 cicli; la deformazione con rottura (circa 20 mm) della piattaforma nella zona centrale anteriore a 33000 cicli; il carico di collasso si raggiunge a 33000 cicli.

Dopo la prova di durabilità (33000 cicli) viene effettuata una prova di resistenza con carico di 2600 N sulla piattaforma, in accordo al paragrafo 5.8 della UNI EN 131-2:2010. La scala rimane funzionale e non risultano ulteriori danni.



Figura 5.3.1- 7 Scala modello F

D. Fabbricante MF

Per il fabbricante MF è stato preso in considerazione un modello di scala doppia e su questa eseguita una prova di durabilità seguita da una di resistenza.

La scala in prova è a un tronco di salita, 5 gradini + piattaforma, in lega di alluminio e piattaforma in alluminio pressofuso. La scala è dichiarata dal fabbricante rispondente alla UNI EN 131.

Sull'esemplare l'inizio della cricca sul gradino caricato e sulla piattaforma avviene a 18000 cicli; la rottura della lamiera della piattaforma e del gradino a 41850 cicli; il carico di collasso si raggiunge a 41850 cicli.

Dopo la prova di durabilità (41850 cicli) viene effettuata una prova di resistenza con carico di 2600

N sulla piattaforma, in accordo al paragrafo 5.8 della UNI EN 131-2:2010. La scala rimane funzionale e non risultano ulteriori danni.



Figura 5.3.1- 8 Scala modello MF

E. Fabbricante L

Per il fabbricante L è stato preso in considerazione un modello di scala doppia e su questa eseguita una prova di durabilità.

La scala in prova è a due tronchi di salita, 7 gradini, in legno massiccio. La scala è dichiarata dal fabbricante rispondente al DPR 547/55.

Sull'esemplare i cicli totali effettuati sono stati 44000, non è stato riscontrato nessun danno visivo ma un leggero disallineamento delle cerniere metalliche di collegamento dei montanti. La scala rimane funzionale.



Figura 5.3.1- 9 Scala modello L

5.3.1.1 Conclusioni sulla scala doppia

L'andamento dei risultati evidenziano che il collasso e/o rottura per le scale doppie avviene ampiamente sopra i 30000 cicli sia per scale normate UNI EN 131 sia per quelle BS 2037 (classe 1) e anche per quelle DPR 547/55 e che quelle provate a resistenza secondo il paragrafo 5.8 della norma UNI EN 131-2:20110 non hanno ceduto e sono rimaste funzionali. Si ritiene in prima istanza che il numero di cicli, da impiegare come criterio passa/non passa per il condizionamento della scala, possa essere fissato a 30000,

Si sottolinea che le scale normate BS 2037 classe 3 sono di caratteristiche inferiori a quelle normate secondo la UNI EN 131. Il carico di collasso/rottura si è infatti verificato intorno ai 3000/4000 cicli. Ciò conferma la validità della scelta del valore di 30000 cicli per una scala di qualità medio - alta.

5.3.2 Requisiti e procedura di prova di durabilità della scala in appoggio

Si veda [Cor-015].

6 Conclusioni

La linea di ricerca si proponeva di studiare il comportamento delle scale portatili più comuni presenti sul mercato nei riguardi della stabilità e della resistenza a fatica, mediante strumenti sia teorici che a carattere sperimentale.

A tal fine sono state progettate e realizzate le seguenti attrezzature di prova:

- attrezzatura idonea a realizzare la verifica sperimentale del comportamento delle scale alla resistenza allo scivolamento alla base (denominata “*water bottle test*”);
- attrezzatura idonea a realizzare la verifica sperimentale del comportamento delle scale alla resistenza alle sollecitazioni dinamiche (durabilità).

Le attrezzature di prova hanno soddisfatto i seguenti requisiti, richiesti sia dalla attività di normazione sia dai laboratori di prova:

- basso costo, tale caratteristica ha raggiunto il costo “quasi zero” per l’attrezzatura per la verifica della resistenza allo scivolamento alla base, in quanto essa può essere realizzata con materiale normalmente disponibile in un laboratorio.
- basso disturbo indotto sui risultati di prova;
- ripetibilità e riproducibilità della prova;
- facilità di esecuzione della prova.

Le prove effettuate (a seguito delle metodologie e procedure specifiche) sono dunque riproducibili e ripetibili.

L’attività di ricerca ha permesso la determinazione di possibili parametri che potrebbero permettere l’individuazione dei criteri di accettabilità relativamente alle:

- scale in appoggio per quanto riguarda la resistenza allo scivolamento alla base;
- scale doppie per quanto riguarda la resistenza alle sollecitazioni dinamiche (durabilità).

Sono state prodotte inoltre metodologie e procedure di prova per:

- scale in appoggio per quanto riguarda la resistenza allo scivolamento alla base;
- scale doppie per quanto riguarda la resistenza alle sollecitazioni dinamiche (durabilità).

I documenti e i report realizzati nell’attività di ricerca sono stati utilizzati dai gruppi di lavoro del CEN/TC 93 “Scale portatili” per la reazione dell’aggiornamento della EN 131-2 “Requisiti e Prove”. In particolare è stata redatta per il CEN una specifica di prova per l’effettuazione del test di durabilità delle scale doppie, da mettere a disposizione dell’utenza (fabbricanti, laboratori ecc.), al fine di far effettuare ulteriori prove di validazione sul campo e così incorporala più velocemente nella norma EN 131-2: Documento CEN/TS 16665 17 luglio 2014 nella versione inglese - *Standing ladder durability test specification*. Il documento è stato recepito dall’UNI nella versione in italiano UNI/CEN/TS 16665 in data 23 settembre 2014.

La linea di ricerca ha determinato la reazione di numerosi documenti, teorici e procedurali, in relazione alla validazione della prova di resistenza allo slittamento alla base della scala in appoggio

e ha permesso l'effettuazione di scambi di esperienze e informazioni tecnico-scientifiche fra diversi laboratori di prova europei con partecipazione attiva alla formulazione della norma europea di prodotto.

Bibliografia

[Cor-015] L. Cortis, F. M. Fabiani, L. Rossi, D. G. Svampa, *Le scale portatili. Requisiti di stabilità e durabilità da determinare mediante prove sperimentali*, Inail, 2015.

Legislazione

D.lgs. 6 settembre 2005, n. 206 e s.m.i.

Codice del consumo, a norma dell'articolo 7 della legge 29 luglio 2003, n. 229.

D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81 e s.m.i.

Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

Norme tecniche

UNI EN 131-1: 2007 – Scale - Parte 1: Termini, tipi, dimensioni funzionali.

UNI EN 131-2: 2010 – Scale - Parte 2: Requisiti, prove, marcatura.

UNI EN 131-3: 2007 – Scale - Parte 3: Istruzioni per l'utilizzatore.

UNI EN 131-4: 2007 – Scale - Parte 4: Scale trasformabili multi posizione con cerniere.

UNI EN 131-7: 2013 – Scale - Parte 7: Scale movibili con piattaforma.

UNI EN 14183: 2004 – Sgabelli a gradini.

UNI 10401: 2004 – Scale d'appoggio portatili a sfilo e innestabili per usi professionali specifici per l'industria.

I Quaderni di ricerca

1 - G. Ciriello, M. De Felice, R. Mosca, M. Veltroni, Roma, Inail, maggio 2013. *Infortuni sul lavoro. Un modello di lettura (della numerosità) su “open data” dell’Inail.*

2 - L. Cortis, F. M. Fabiani, C. Ratti, L. Rossi, D. G. Svampa, C. Vitale, Roma, Inail, dicembre 2013. *Analisi e valutazione del comportamento dell’assorbitore di energia nei sistemi di arresto caduta con differenti masse di prova.*

3 - P. Rossi, Roma, Inail novembre 2014. *Danno biologico: monitoraggio, criticità e prospettive d’interesse medico-legale a dieci anni dall’introduzione della nuova disciplina.*

4 - M. De Felice, A. Goggiamani, R. Mosca, M. Veltroni, Roma, Inail, dicembre 2014. *Malattie professionali. Un modello di lettura (della numerosità) su “open data” dell’Inail.*