

INAIL
Quaderni di ricerca

**Determinazione della resistenza
caratteristica dei dispositivi
di collegamento montante-traverso
nei ponteggi metallici fissi di facciata**

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

numero **6** – maggio 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 978-88-7484-453-1

Stampato presso la Tipografia INAIL – Milano, agosto 2015

Determinazione della resistenza caratteristica dei dispositivi di collegamento montante-traverso nei ponteggi metallici fissi di facciata

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

Sommario - Lo studio si propone di analizzare il comportamento strutturale dei dispositivi di collegamento montante-traverso nei ponteggi metallici fissi di facciata realizzati con sistemi modulari.

In particolare se ne vuole determinare il valore nominale della resistenza caratteristica facendo riferimento alla UNI EN 12811-3:2005.

Secondo la suddetta norma la valutazione della resistenza deve essere effettuata sulla base dei risultati delle prove sperimentali, per le quali la stessa fornisce i requisiti da rispettare. Essi risultano comunque generici e riguardano le prove di carico su attrezzature di lavoro in generale.

Dopo un'attenta analisi della norma, viene proposta nel presente lavoro una procedura di prova per la valutazione del dispositivo di collegamento montante-traverso, compatibile con i requisiti generali imposti dalla UNI EN 12811-3:2005.

Lo studio comprende inoltre una fase sperimentale che ha avuto lo scopo di acquisire elementi utili per la messa a punto della procedura stessa.

La redazione di codici guida costituisce possibile ulteriore obiettivo insieme allo studio di un ampio spettro di opere provvisorie.

Il presente Quaderno fa riferimento al report "I ponteggi metallici fissi di facciata. Determinazione del valore nominale della resistenza caratteristica secondo la UNI EN 12811-3:2005 dei dispositivi di collegamento montante-traverso realizzati con sistemi modulari" (L. Cortis, F. M. Fabiani, L. Rossi, D. G. Svampa, Roma, Inail, 2015), pubblicato sul sito dell'Inail.

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	Analisi della UNI EN 12811-3:2005	8
2.	Requisiti per le prove sperimentali secondo la UNI EN 12810-2:2004 e la UNI EN 12811-3:2005 necessarie alla valutazione del valore nominale del momento di giunzione caratteristico dei dispositivi di collegamento montante-traverso	10
3.	Definizione dei requisiti delle prove pilota in accordo alla UNI EN 12811-3:2005	13
3.1	Prove pilota per la taratura della strumentazione in termini di velocità di spostamento da imporre (v)	13
3.1.1	Prove pilota per la determinazione della velocità di spostamento da imporre v_{npDP} che determina il pieno sviluppo delle deformazioni plastiche	14
3.1.2	Prove pilota per la determinazione della velocità di spostamento da imporre v_p che determina una velocità di carico statico non maggiore del 25% del carico massimo	14
3.1.3	Prove pilota per la valutazione del carico massimo stimato M_{max}	15
3.1.4	Stima della velocità di spostamento da imporre (v) per le ulteriori prove sperimentali	16
3.2	Prove pilota per la valutazione di R_k^+ (tre metodi alternativi)	16
3.2.1	I metodo: valutazione di R_k^+ con prove monotone nel verso positivo dello spostamento. $R_{k,I}^+$	17
3.2.2	II metodo: valutazione di R_k^+ con prove cicliche senza inversione di carico (influenza della fase ciclica sul valore di R_k^+)	18
3.2.3	III metodo: valutazione di R_k^+ con prove cicliche con inversione di carico (influenza della inversione di carico nella fase ciclica sul valore di R_k^+)	19
3.3	Prove pilota per la valutazione di R_k^- (tre metodi alternativi)	21
3.3.1	I metodo: valutazione di R_k^- con prove monotone nel verso negativo dello spostamento. $R_{k,I}^-$	21
3.3.2	II metodo: valutazione di R_k^- con prove cicliche senza inversione di carico $R_{k,II}^-$. (Influenza della fase ciclica sul valore di R_k^-)	21
3.3.3	III metodo: valutazione di R_k^- con prove cicliche con inversione di carico. $R_{k,III}^-$ (Influenza della inversione di carico nella fase ciclica sul valore di R_k^-)	21
3.4	Stima del numero di provini necessari per l'esecuzione delle prove pilota	22
3.5	Prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ e di $R_{k,nom}^-$	22
3.5.1	Prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,I}$	25
3.5.2	Prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,II}$	27
3.5.3	Prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,III}$	27
3.5.4	Prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,I}$	28
3.5.5	Prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,II}$	29
3.5.6	Prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,III}$	29
3.6	Stima del numero di provini necessari per l'esecuzione delle prove pilota	29
3.7	Valutazione di $R_{k,nom}^+$ e di $R_{k,nom}^-$ dai risultati delle prove sperimentali	29
4	Fase sperimentale	31
4.1	Disposizione e procedimento di prova	34

4.2	Risultati sperimentali	37
4.2.1	Prove 1MNPP	37
4.2.1.1	Prova 1MNPPV1	38
4.2.1.2	Prova 1MNPPV2	39
4.2.1.3	Prova 1MNPPV3 = 1MNPPS1	40
4.2.1.4	Prova 1MNPPS2	41
4.2.1.5	Prova 1MNPPS3	42
4.2.1.6	Osservazioni sulle prove 1MNPP - dalla 1MNPPV1 alla 1MNPPS3	43
4.2.1.7	Prova 1MNPPS4	44
4.2.1.8	Prova 1MNPPS5	44
4.2.1.9	Prova 1MNPPS6	44
4.2.1.10	Osservazioni sulle prove 1MNPP - dalla 1MNPPS4 alla 1MNPPS6	44
4.2.2	Prove 1MPPP	46
4.2.2.1	Prova 1MPPPV1	47
4.2.2.2	Prova 1MPPPV2 = 1MPPPS1	49
4.2.2.3	Prova 1MPPPS2	53
4.2.2.4	Prova 1MPPPS3	56
4.2.2.5	Osservazioni sulle prove 1MPPP - dalla 1MPPPV1 alla 1MPPPS3	60
4.2.2.6	Prova 1MPPPS4	61
4.2.2.7	Prova 1MPPPS5	61
4.2.2.8	Prova 1MPPPS6	61
4.2.2.9	Prova 1MPPPS7	61
4.2.2.10	Prova 1MPPPS8	61
4.2.2.11	Osservazioni sulle prove 1MPPP - dalla 1MPPPS4 alla 1MPPPS8	61
4.2.3	Prova 2CNPP1	64
4.2.3.1	Osservazioni sulla prova 2CNPP1	66
4.2.4	Prova 2CPPP1	66
4.2.4.1	Osservazioni sulla prova 2CPPP1	68
4.2.5	Prova 3CNPP1	68
4.2.5.1	Osservazioni sulla prova 3CNPP1	70
4.2.6	Prova 3CPPP1	71
4.2.6.1	Osservazioni sulla prova 3CPPP1	74
4.2.7	Prova 4CNPP1	74
4.2.7.1	Osservazioni sulla prova 4CNPP1	75
4.2.8	Prova 4CPPP1	75
4.2.8.1	Osservazioni sulla prova 4CPPP1	78
5	Conclusioni	79
	Bibliografia	81

Premessa – Nel corso degli ultimi cinquant'anni l'evoluzione tecnologica sulle opere provvisionali è stata decisamente consistente, in quanto si è passati da realizzazioni quasi artigianali in legname a quelle industriali in metallo.

Le opere provvisionali metalliche sono caratterizzate da una elevata snellezza delle aste e da una elevata mobilità dei nodi. Lo studio di tali strutture mostra incertezze che non possono essere determinate a priori con ipotesi semplificative, ma necessitano per la loro valutazione, dell'esecuzione di prove sperimentali atte a determinare i parametri necessari per le verifiche di stabilità.

In quegli anni furono emanate disposizioni legislative (DPR 164/56) che richiedevano per la fabbricazione e la commercializzazione dei ponteggi metallici fissi, una autorizzazione ministeriale, che prescriveva la redazione di una relazione tecnica con l'obbligo del calcolo secondo le varie condizioni di impiego, al fine di verificarne la stabilità.

Successivamente, sotto la spinta di alcune legislazioni nazionali (Italia, Francia, Germania ed Olanda) furono effettuati sia studi sul comportamento dei nodi strutturali che prove sperimentali di collasso di ponteggi in scala 1:1.

In Italia venne messo a punto un sistema di prove (da effettuarsi in scala 1:1) che permetteva, attraverso la snellezza equivalente, di valutare quei fattori che erano necessari per tener conto dei fenomeni di instabilità. La Germania, peraltro, offrì un notevole contributo alla comprensione dell'influenza del comportamento non lineare dei collegamenti trasverso-montante realizzati con tubi e giunti.

Con l'introduzione dei ponteggi a telaio prefabbricato, che comportavano maggiori giochi nei collegamenti rispetto a quelli a tubi e giunti, fu necessario introdurre nuovi studi sui metodi di calcolo e nuove prove.

I sistemi di calcolo di stabilità dei ponteggi si svilupparono secondo due direzioni:

- analisi elastica del primo ordine, con valutazione addizionale degli effetti del secondo ordine, soprattutto in Italia;
- analisi elastica del secondo ordine, soprattutto in Germania.

La direttiva CE/45/2001 (recepita in Italia con il D.Lgs 235/03 ora abrogato e inserito nel D.Lgs 81/08) ha introdotto in Europa l'obbligo del calcolo per i ponteggi. Nello stesso tempo sono state emanate delle norme europee (EN 12810 e EN 12811) per la fabbricazione delle attrezzature provvisionali di lavoro e dei ponteggi di facciata, per la progettazione e per le prove di carico.

La diffusione dei calcolatori, lo sviluppo di nuovi software e l'allargamento del mercato a livello globale, che va ben oltre il contesto italiano, fanno sì che la fabbricazione e realizzazione di un'opera provvisoria venga richiesta dal mercato secondo la recente normativa europea, che richiama i principi progettuali con l'analisi del secondo ordine e quelli sperimentali collegati ad essi.

Tale approccio risulta pertanto, oltre che una innovazione tecnologica e scientifica, una necessità sia commerciale da parte dei fabbricanti, che di conoscenza delle istituzioni pubbliche preposte al controllo del prodotto e alla consulenza scientifica sullo stesso.

1. Analisi della UNI EN 12811-3:2005

Per la valutazione della resistenza del dispositivo di collegamento, secondo il punto 7.2 della UNI EN 12811-3:2005 “Attrezzature provvisionali di lavoro - Parte 3: Prove di carico” devono essere eseguite delle prove a collasso.

“Prima del carico a rottura si deve applicare un carico ciclico completo (c_{full})(...)per misurare il comportamento strutturale caratteristico. (...). Le prove devono essere eseguite in una gamma (range) di carico di

$$\left[+1,0 \cdot \frac{R_k^+}{\gamma_M \cdot \gamma_F}; -1,0 \cdot \frac{R_k^-}{\gamma_M \cdot \gamma_F} \right]$$

dove:

R_k^+ è il valore caratteristico della resistenza nella direzione positiva del carico;

R_k^- è il valore caratteristico della resistenza nella direzione negativa del carico;

γ_M è il fattore parziale di sicurezza per la resistenza;

γ_F è il fattore parziale di sicurezza per l'azione.

A questo livello di carico devono essere eseguiti almeno tre cicli.

Al completamento di tale caricamento, il caricamento deve essere aumentato in una direzione di carico fino alla rottura con alcuni scarichi fino al livello zero.

Dal momento che le resistenze caratteristiche R_k non sono note all'inizio delle prove, si possono accettare valori stimati, per esempio da prove pilota”.

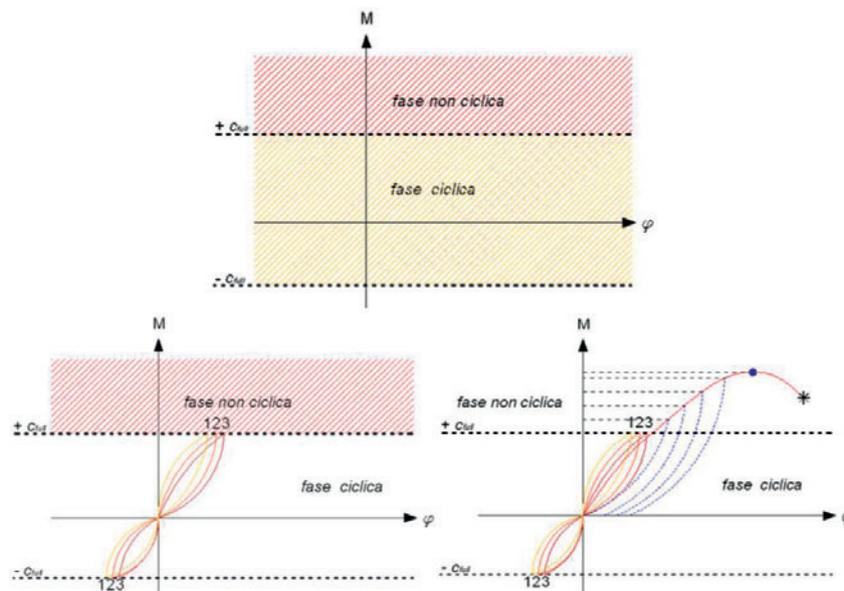


Figura 1-1 Schematizzazione della prova a collasso per la valutazione della resistenza del dispositivo di collegamento con rottura nel verso positivo del carico in accordo al punto 7.2 della UNI EN 12811-3:2005.

Individuazione della fase ciclica e della fase non ciclica in funzione di

$$- c_{full} = \left[-1,0 \cdot \frac{R_k^-}{\gamma_M \cdot \gamma_F} \right] \quad \text{e di} \quad + c_{full} = \left[+1,0 \cdot \frac{R_k^+}{\gamma_M \cdot \gamma_F} \right]$$

La normativa non chiarisce:

- le modalità di esecuzione delle prove pilota, né la loro tipologia (prove monotone, cicliche, cicliche con inversione del carico)
- oltre la fase ciclica della prova per la determinazione del valore nominale del momento di giunzione, con quali modalità il caricamento deve essere aumentato in un verso di carico fino alla rottura, con quanti scarichi fino al livello zero e a quali livelli di carico prima del caricamento definitivo fino al collasso.

Partendo dai requisiti indicati nella suddetta norma, richiamati dalla UNI EN 12810-2:2004 “Ponteggi di facciata realizzati con componenti prefabbricati - Parte 2: Metodi particolari di progettazione strutturale”, e che si riferiscono in generale alle prove di configurazioni e componenti delle attrezzature provvisorie di lavoro, si vogliono preliminarmente chiarire alcuni aspetti relativi ai precedenti punti, applicati al dispositivo di collegamento montante-traverso nei ponteggi di facciata realizzati con sistemi modulari.

In particolare, si vuole fornire:

- per quanto riguarda le prove pilota:
 - o una definizione delle prove pilota e loro finalità,
 - o una valutazione del numero di prove pilota da eseguire,
 - o una indagine sull’influenza della fase ciclica nelle prove pilota sul valore di R_k^+ e di R_k^- ,
 - o una indagine sull’influenza dell’inversione del carico ciclico nelle prove pilota sul valore di R_k^+ e di R_k^- .
- per quanto riguarda le prove a collasso cicliche per la determinazione del valore nominale del momento di giunzione:
 - o una definizione dell’ampiezza delle fasi di carico e del numero di scarichi a zero oltre la fase ciclica nelle prove per la valutazione di R_{knom}^+ ,
 - o una definizione dell’ampiezza delle fasi di carico e del numero di scarichi a zero oltre la fase ciclica nelle prove per la valutazione di R_{knom}^- .

Di seguito verranno proposte procedure di prova che hanno lo scopo di dare risposta ai suddetti obiettivi prefissati.

Nel capitolo 3 che segue si daranno indicazioni specifiche sui requisiti delle prove sperimentali necessarie alle suddette indagini in accordo ai requisiti generali della UNI EN 12811-3:2005 e riportati al successivo paragrafo 2.

2. Requisiti per le prove sperimentali secondo la UNI EN 12810-2:2004 e la UNI EN 12811-3:2005 necessarie alla valutazione del valore nominale del momento di giunzione caratteristico dei dispositivi di collegamento montante-traverso

Si riportano di seguito i requisiti per le prove sperimentali secondo la UNI EN 12810-2:2004 “Ponteggi di facciata realizzati con componenti prefabbricati - Parte 2: Metodi particolari di progettazione strutturale” e la UNI EN 12811-3:2005 “Attrezzature provvisorie di lavoro - Parte 3: Prove di carico” necessarie alla valutazione del valore nominale del momento di giunzione caratteristico dei dispositivi di collegamento montante-traverso.

Si precisa che tali requisiti sono stati estrapolati dalle suddette norme, dai paragrafi di seguito specificati, riportando in corsivo solo i brani che riguardano il particolare dispositivo di collegamento e la resistenza relativa alla sola azione di tipo “momento di giunzione”. Per la resistenza relativa ad azioni in più di una direzione si rimanda direttamente alle norme.

Nell'appendice di [Cor-015] è stato riportato il punto 10 della UNI EN 12811-3:2005 (Valutazione della capacità portante e della rigidezza dalle prove di configurazioni e componenti metallici) più volte richiamato nel presente documento.

- *UNI EN 12810-2/4.3.1: Prove di rigidezza e resistenza*

Le prove richieste devono essere eseguite e i risultati valutati in conformità alla EN 12811-3. Si devono eseguire almeno cinque prove per ogni parametro.

- *UNI EN 12811-3:2005:*

5: Requisiti generali per le prove di carico

Il carico (i carichi) e gli spostamenti o rotazioni relativi devono essere registrati in un numero di fasi sufficiente durante il carico o lo scarico per definire completamente le curve di deformazione. Durante la prova dovrebbe essere disponibile un grafico continuo della deformazione principale rispetto al carico. Di preferenza, le prove devono essere eseguite con controllo dello spostamento. La velocità di carico deve essere sufficientemente lenta da consentire il pieno sviluppo delle deformazioni plastiche.

La velocità di carico statico può essere regolata in base al comportamento del componente o della configurazione sottoposti a prova, ma non deve essere maggiore del 25% del carico massimo stimato al minuto. Similmente, l'ampiezza delle fasi di carico può essere regolata in base al comportamento del componente o della configurazione sottoposti a prova, ma ogni fase non deve essere maggiore del 10% del carico massimo. Il carico può essere applicato in continuo, soggetto alla velocità di carico limite definita nel prospetto 1 (vedasi nota 1 di [Cor-015]); per il carico ciclico vedere 7.2.

7: Prove di configurazioni e componenti

7.1: Generalità: I collegamenti che utilizzano cunei o bulloni devono essere assemblati e smontati tre volte prima dell'assemblaggio per qualsiasi prova.

7.2: Prove per determinare la capacità portante, la rigidezza e il gioco

7.2.1: Generalità: Prima del carico a rottura, si deve applicare un carico ciclico nei casi seguenti:

Il carico ciclico completo (c_{full}) deve essere applicato per configurazioni e componenti che sono destinati ad essere sottoposti a inversioni delle sollecitazioni per misurare il comportamento strutturale caratteristico (vedere 7.2.2.1);

Il carico ciclico limitato (c_{lim}) deve essere applicato per configurazioni e componenti che possono presentare un gioco se a) non è richiesto.

7.2.2: Carico ciclico.

7.2.2.1 Per il carico ciclico completo (c_{full}) le prove devono essere eseguite per una gamma (range) di carico di:

$$\left[+1,0 \cdot \frac{R_k^+}{\gamma_M \cdot \gamma_F}; -1,0 \cdot \frac{R_k^-}{\gamma_M \cdot \gamma_F} \right]$$

dove:

R_k^+ è il valore caratteristico della resistenza nella direzione positiva del carico;

R_k^- è il valore caratteristico della resistenza nella direzione negativa del carico;

γ_M è il fattore parziale di sicurezza per la resistenza;

γ_F è il fattore parziale di sicurezza per l'azione.

A questo livello di carico devono essere eseguiti almeno tre cicli.

Al completamento di tale caricamento, il caricamento deve essere aumentato in una direzione di carico fino alla rottura con alcuni scarichi fino al livello zero.

Dal momento che le resistenze caratteristiche R_k non sono note all'inizio delle prove, si possono accettare valori stimati; per esempio da prove pilota.

Almeno cinque prove uguali devono essere eseguite per ogni parametro tracciato.

Una prova può essere eseguita con un carico (o momento) o con combinazioni di carichi, per determinare il comportamento di interazione.

Per il carico ciclico limitato (c_{lim}), tre cicli devono dapprima essere eseguiti per una gamma (range) di carico di:

$$\left[+1,0 \cdot \frac{R_k^+}{\gamma_M \cdot \gamma_F}; -1,0 \cdot \frac{R_k^-}{\gamma_M \cdot \gamma_F} \right]$$

quindi il carico deve essere aumentato fino a rottura con alcuni scarichi. Almeno cinque prove devono essere eseguite per ogni parametro tracciato.

9: Documentazione dei risultati di prova

9.3.5: Disposizione e procedimento di prova.

La disposizione di prova deve essere completamente dettagliata e documentata mediante disegni e fotografie quando appropriato. Le condizioni limite dei componenti sottoposti a prova devono essere chiaramente definite. Le posizioni dei carichi e degli strumenti nonché le posizioni degli appoggi devono essere indicate mediante dimensioni precise.

Il tipo e l'accuratezza dell'apparecchiatura di carico e di misurazione devono essere dichiarati. Il tipo di carico, controllato dallo spostamento o dalla forza, deve essere indicato. Caratteristiche quali la velocità di carico, gli scarichi e i cicli di isteresi devono essere documentate.

9.3.6: Risultati.

Per ogni prova, i risultati, tutte le fasi di carico (per esempio forza, momento) e le deformazioni corrispondenti (per esempio spostamenti, angoli) devono essere indicate numericamente su carta o elettronicamente. Le curve di carico-deformazione principali devono essere presentate anche graficamente. Per ogni tipo di prova, si devono fornire fotografie dei componenti rotti o dei componenti con deformazioni plastiche. Si devono indicare le parti dei componenti che causano la rottura e le ragioni della rottura. Si devono fornire commenti esplicativi su risultati di prova inconsueti.

3. Definizione dei requisiti delle prove pilota in accordo alla UNI EN 12811-3:2005

Anche se non espressamente richiesto dalla UNI EN 12811:3, si assumono per le prove pilota i requisiti delle prove sperimentali riportati nel precedente paragrafo. Le prove pilota hanno lo scopo di:

- tarare la strumentazione in termini di velocità di spostamento da imporre (v);
- determinare il valore di R_k^+ per la determinazione del range di carico ciclico completo c_{full} delle prove a rottura;
- determinare il valore di R_k^- per la determinazione del range di carico ciclico completo c_{full} delle prove a rottura.

3.1 Prove pilota per la taratura della strumentazione in termini di velocità di spostamento da imporre (v)

Le prove pilota sono eseguite in controllo di spostamento e nei due versi, positivo e negativo.

Per ogni prova pilota deve essere disponibile un grafico continuo della deformazione principale rispetto al carico.

Scelto un verso dello spostamento, positivo o negativo, si eseguono prove pilota del tipo monotone al collasso.

Per ogni prova pilota deve essere registrato il carico massimo ottenuto.

In accordo al punto 5 della UNI EN 12811-3:2005 per ogni prova sperimentale devono essere rispettati i seguenti requisiti:

1. La velocità di spostamento imposto deve essere sufficientemente lenta da consentire il pieno sviluppo delle deformazioni plastiche. Controllare nel grafico spostamento-carico l'andamento delle deformazioni rispetto al carico. Il pieno sviluppo delle deformazioni plastiche si ha quando, oltre la fase elastica, si sviluppa una fase apprezzabile di snervamento e/o di incrudimento prima della rottura (vedasi nota 2 di [Cor-015]).
2. La velocità di carico statico, conseguente alla velocità di spostamento imposto, non deve essere maggiore del 25% del carico massimo stimato al minuto.

Per questo tipo di prove pilota si procederà dapprima alla valutazione di una velocità di spostamento da imporre che determini il pieno sviluppo delle deformazioni plastiche.

In seguito si controllerà che tale velocità di spostamento determini una velocità di carico non maggiore del 25% del carico massimo ottenuto per quella prova.

Qualora questo non accadesse si modificherà la velocità di spostamento imposto (diminuendola) fino ad ottenere il raggiungimento di tale requisito.

Si vuole evidenziare che il controllo della velocità di carico non viene eseguito per le prove pilota sul carico massimo stimato (non ancora noto), ma sul carico massimo ottenuto per ogni singola prova eseguita.

Il carico massimo stimato verrà valutato con ulteriori prove pilota tarate come appena descritto per fornire una velocità di spostamento conforme alla norma, da imporre per le altre prove sperimentali.

Si precisa che la determinazione della velocità di spostamento deve essere in generale eseguita per entrambe le direzioni, positiva e negativa, fornendo due valori v^+ e v^- potenzialmente diversi, essendo tarati rispettivamente sul massimo carico stimato positivo e negativo del dispositivo di collegamento.

3.1.1 Prove pilota per la determinazione della velocità di spostamento da imporre v_{npDP} che determina il pieno sviluppo delle deformazioni plastiche

Scelto un verso dello spostamento, (positivo o negativo) si eseguono un numero $npDP$ inizialmente incognito di prove pilota, procedendo a tentativi e imponendo per ogni prova delle velocità di spostamento v_i (v_i^+ o v_i^-) diverse, via via decrescenti, fino ad ottenere un grafico spostamento-carico nel quale sia evidente il pieno sviluppo delle deformazioni plastiche.

Questo si otterrà alla velocità di spostamento v_{npDP} (v_{npDP}^+ o v_{npDP}^-) relativa alla prova $i=npDP$. Una velocità v_i (v_i^+ o v_i^-) di primo tentativo accettabile potrebbe essere dedotta da altre sperimentazioni su dispositivi analoghi a quelli oggetto di sperimentazione o posta pari alla minima velocità di spostamento che l'apparecchiatura di prova può consentire.

3.1.2 Prove pilota per la determinazione della velocità di spostamento da imporre v_p che determina una velocità di carico statico non maggiore del 25% del carico massimo

Dopo aver definito una velocità di spostamento v_{npDP} (v_{npDP}^+ o v_{npDP}^-) relativa al verso di spostamento precedentemente scelto (positivo o negativo), si eseguono un numero n_p , inizialmente incognito, di prove pilota, con velocità di spostamento di primo tentativo pari a v_{npDP} (v_{npDP}^+ o v_{npDP}^-), registrando il carico massimo e controllando a posteriori che la velocità di carico statico (conseguente allo spostamento imposto vedi figura 3.1.2-1) non sia stata maggiore del 25% del carico massimo (non stimato, ma relativo alla prova che si è appena eseguita) al minuto.

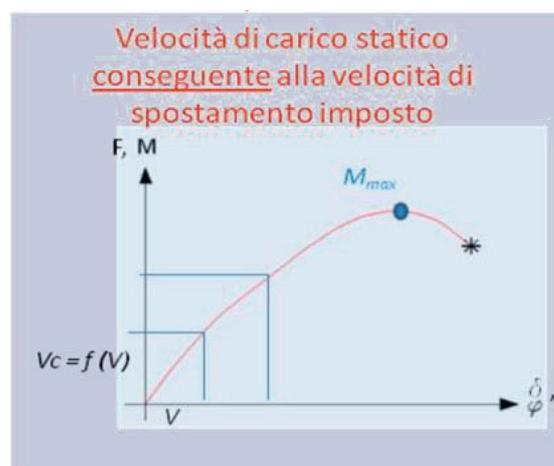


Figura 3.1.2-1 Relazione fra la velocità di spostamento imposto v^+ (asse delle ascisse) e la velocità di carico statico v_c^+ conseguente (asse delle ordinate)

È possibile che tale obiettivo si raggiunga già con la velocità v_{npDP} (v_{npDP}^+ o v_{npDP}^-), rendendo non necessarie le ulteriori n_p prove pilota.

Altrimenti si procede a tentativi eseguendo le n_p prove pilota, variando la velocità di spostamento fino ad ottenere che la velocità di carico statico non sia maggiore del 25% del carico massimo (non stimato, ma relativo alla prova che si è appena eseguita) al minuto (vedi figura 3.1.2-2). Sia v_p (v_p^+ o v_p^-) tale velocità di carico.

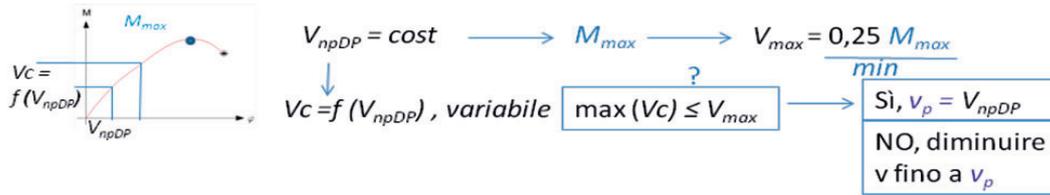


Figura 3.1.2-2 Diagramma di flusso delle operazioni da eseguire per la valutazione della velocità di spostamento v_p^+ che determina una velocità di carico statico non maggiore del 25% del carico massimo relativo alla prova che si è appena eseguita

3.1.3 Prove pilota per la valutazione del carico massimo stimato M_{max}

Alla velocità di carico v_p (v_p^+ o v_p^-) si eseguono ulteriori due (vedasi nota 3 di [Cor-015]) prove pilota per la valutazione del carico massimo stimato al minuto nello stesso verso di spostamento scelto ai punti precedenti.

Con gli stessi criteri adottati in 10.8 della UNI EN 12811-3:2005, che si riporta integralmente nell'Appendice di [Cor-015], la stima viene eseguita valutando statisticamente i carichi massimi ottenuti per ognuna delle due ultime prove eseguite e per la prova eseguita al punto precedente alla velocità v_p (v_p^+ o v_p^-).

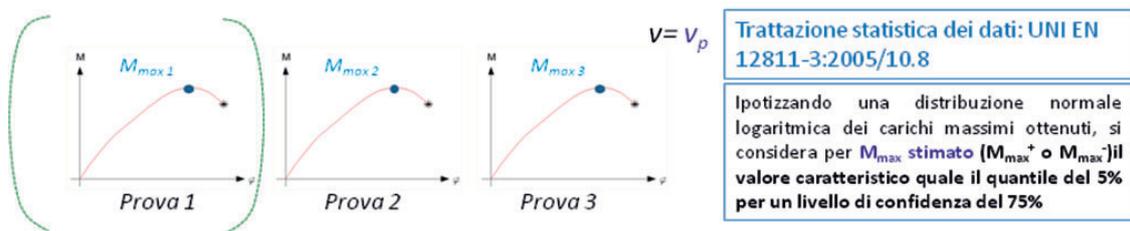


Figura 3.1.3-1 Prove pilota per la valutazione del carico massimo stimato

Ipotizzando una distribuzione normale logaritmica dei carichi massimi ottenuti, si considera per M_{max} (M_{max}^+ o M_{max}^-) il valore caratteristico quale il quantile del 5% per un livello di confidenza del 75% (vedasi nota 4 di [Cor-015]).

Posti $M_{max,1}$, $M_{max,2}$, $M_{max,3}$, i valori massimi per ognuna delle prove eseguite, si avrà:

prova i	1	2	3
$M_{max,i}$ (Nm)	$M_{max,1}$	$M_{max,2}$	$M_{max,3}$

Risulterà $M_{\max} = e^{y_5}$,

dove:

$y_5 = \bar{y} - k_{sk} \cdot \sqrt{s_y^2}$ è il quantile del 5% per il livello di confidenza del 75%

$\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i$ è il valore medio dei valori y_i

$y_i = \ln(M_{\max,i})$ sono i valori logaritmici degli $M_{\max,i}$

$k_{sk} = 3,15$ è il fattore quantile (vedasi [Cor-015]) relativo al quantile del 5% per un livello di confidenza del 75%

$s_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ è la varianza

s_y è l'errore standard

La stima di M_{\max} deve essere eseguita per l'altra direzione di spostamento (negativa o positiva) ripercorrendo i passi ai punti 3.1.1. 3.1.2, 3.1.3 con velocità di spostamento imposto opportuna (v_p^- o v_p^+).

Di seguito si indicheranno con M_{\max}^+ e M_{\max}^- i carichi massimi M_{\max} come appena determinati, rispettivamente nel verso positivo e negativo dello spostamento imposto.

3.1.4 Stima della velocità di spostamento da imporre (v) per le ulteriori prove sperimentali

La velocità di spostamento imposto v nella direzione di spostamento scelta nei punti precedenti, dovrà determinare una velocità di carico conseguente $v_c(v)$ per le ulteriori altre prove sperimentali, non maggiore del 25% del carico massimo stimato al minuto M_{\max} .

Sia

$$v_{\max}^{(+,-)} = \frac{0.25 \cdot M_{\max}^{(+,-)}}{\min}$$

Dovrà risultare: $v_c^{(+,-)}(v^{(+,-)}) \leq v_{\max}^{(+,-)}$

Gli apici “+” e “-” indicano i versi di spostamento scelti.

Di seguito si indicheranno con v^+ e v^- le velocità di spostamento v come appena determinate, rispettivamente nel verso positivo e negativo.

3.2 Prove pilota per la valutazione di R_k^+ (tre metodi alternativi)

Determinata la velocità di spostamento imposto v^+ nel verso positivo dello spostamento, si può

procedere alla valutazione di R_k^+ , definito in 7.2.2 della UNI EN 12811-3:2005 come valore caratteristico della resistenza in direzione positiva del carico. In via preliminare si vuole valutare l'influenza del tipo di prova sulla determinazione di tale parametro.

Si propongono i seguenti tre metodi alternativi:

1. I metodo: valutazione di R_k^+ con prove monotone nel verso positivo dello spostamento;
2. II metodo: valutazione di R_k^+ con prove cicliche senza inversione di carico (influenza della fase ciclica sul valore di R_k^+).
3. III metodo: valutazione di R_k^+ con prove cicliche con inversione di carico (influenza della inversione di carico nella fase ciclica sul valore di R_k^+).

Per ogni metodo, verranno eseguite tre prove sperimentali (vedasi nota 6 di [Cor-015]).

Essendo R_k^+ valore caratteristico della resistenza, i risultati sperimentali ottenuti per ognuna delle metodologie di prova eseguite verranno trattati statisticamente in modo separato secondo il punto 10 della UNI EN 12811-3:2005 per ottenere i valori $R_{k,I}^+$, $R_{k,II}^+$, $R_{k,III}^+$, relativi ai tre metodi.

Si valuterà a posteriori l'influenza delle tre metodologie sui valori caratteristici R_k^+ .

3.2.1 I metodo: valutazione di R_k^+ con prove monotone nel verso positivo dello spostamento. $R_{k,I}^+$

Si eseguono tre prove monotone a rottura in controllo di spostamenti in direzione positiva e imponendo la velocità di spostamento v^+ .

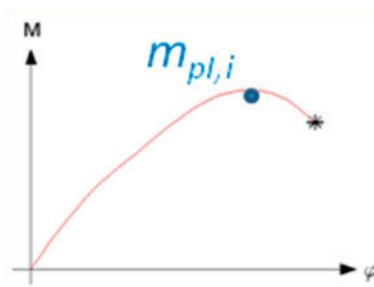


Figura 3.2.1-1. Schematizzazione di una prova pilota del tipo monotona nel verso positivo dello spostamento (I metodo) per la valutazione di R_k

Per ognuna delle prove si registrano i valori massimi del carico ottenuti.

Ipotizzando una distribuzione normale logaritmica dei carichi massimi ottenuti, si considera per $R_{k,I}^+$ il valore caratteristico relativo al primo metodo quale il quantile del 5% per un livello di confidenza del 75% (vedasi nota 7 di [Cor-015]).

Posti $m^+_{(p1,1)}$, $m^+_{(p1,2)}$, $m^+_{(p1,3)}$, i valori massimi del carico per ognuna delle prove eseguite, si avrà:

prova i	1	2	3
$m^+_{(p1,i)} \text{ (Nm)}$	$m^+_{(p1,1)}$	$m^+_{(p1,2)}$	$m^+_{(p1,3)}$

Risulterà $R_{k,i}^+ = e^{y_5}$

dove:

$y_5 = \bar{y} - k_{sk} \cdot \sqrt{s_y^2}$ è il quantile del 5% per il livello di confidenza del 75%

$\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i$ è il valore medio dei valori y_i

$y_i = \ln(m_{p1,i}^+)$ sono i valori logaritmici degli $m^+_{(p1,i)}$

$k_{sk} = 3,15$ è il fattore quantile (vedasi nota 8 di [Cor-015]) (per $n=3$) relativo al quantile del 5% per un livello di confidenza del 75%

$s_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ è la varianza

s_y è l'errore standard

3.2.2 Il metodo: valutazione di R_k^+ con prove cicliche senza inversione di carico (influenza della fase ciclica sul valore di R_k^+)

Si eseguono tre prove a rottura in controllo di spostamento imponendo la velocità di spostamento v^+ .

Prima del carico a rottura si applica un carico ciclico nel range di carico:

$$\left[0; +1,0 \cdot \frac{M_{\max}^+}{\gamma_M \cdot \gamma_F} \right]$$

dove:

M_{\max}^+ è il carico massimo stimato al minuto direzione positiva del carico determinato al paragrafo 3.1.3;

γ_M è il fattore parziale di sicurezza per la resistenza = 1,1;

γ_F è il fattore parziale di sicurezza per l'azione = 1,5.

A questo livello di carico si eseguono tre cicli.

Al completamento di tale caricamento, il caricamento deve essere aumentato nella direzione positiva del carico fino alla rottura sempre alla velocità di spostamento imposto v^+ .

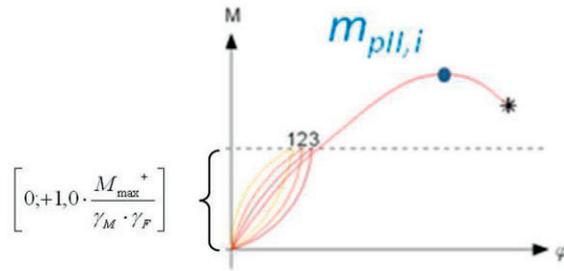


Figura 3.2.2-1. Schematizzazione di una prova pilota del tipo ciclica senza inversione di carico (II metodo) per la valutazione di R_k

Per ognuna delle prove si registrano i valori massimi del carico ottenuti.

Ipotizzando una distribuzione normale logaritmica dei carichi massimi ottenuti, si considera per $R_{k,II}^+$ (valore caratteristico relativo al secondo metodo) il valore caratteristico quale il quantile del 5% per un livello di confidenza del 75% (vedasi nota 9 di [Cor-015]).

Posti $m_{(pII,1)}^+$, $m_{(pII,2)}^+$, $m_{(pII,3)}^+$ i valori massimi del carico per ognuna delle prove eseguite, si avrà:

prova i	1	2	3
$m_{(pII,i)}^+$ (Nm)	$m_{(pII,1)}^+$	$m_{(pII,2)}^+$	$m_{(pII,3)}^+$

Risulterà $R_{k,II}^+ = e^{y_5}$

dove:

$y_5 = \bar{y} - k_{sk} \cdot \sqrt{s_y^2}$ è il quantile del 5% per il livello di confidenza del 75%

$\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i$ è il valore medio dei valori y_i

$y_i = \ln(m_{pII,i}^+)$ sono i valori logaritmici degli $m_{(p,i)}^+$

$k_{sk} = 3,15$ è il fattore quantile (vedasi nota 10 di [Cor-015]) (per $n=3$) relativo al quantile del 5% per un livello di confidenza del 75%

$s_y^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ è la varianza

s_y è l'errore standard

3.2.3 III metodo: valutazione di R_k^+ con prove cicliche con inversione di carico (influenza della inversione di carico nella fase ciclica sul valore di R_k^+)

Si eseguono tre prove a rottura in controllo di spostamenti imponendo la velocità di spostamento v^+ .

Prima del carico a rottura si applica un carico ciclico nel range di carico:

$$\left[-1,0 \cdot \frac{M_{\max}^-}{\gamma_M \cdot \gamma_F}; +1,0 \cdot \frac{M_{\max}^+}{\gamma_M \cdot \gamma_F} \right]$$

dove:

M_{\max}^+ è il carico massimo stimato al minuto direzione positiva del carico determinato al paragrafo 3.1.3;

M_{\max}^- è il carico massimo stimato al minuto direzione negativa del carico determinato al paragrafo 3.1.3;

γ_M è il fattore parziale di sicurezza per la resistenza = 1,1;

γ_F è il fattore parziale di sicurezza per l'azione = 1,5.

A questo livello di carico si eseguono tre cicli.

Al completamento di tale caricamento, il caricamento deve essere aumentato nel verso positivo del carico fino alla rottura sempre alla velocità di spostamento imposto v^+ .

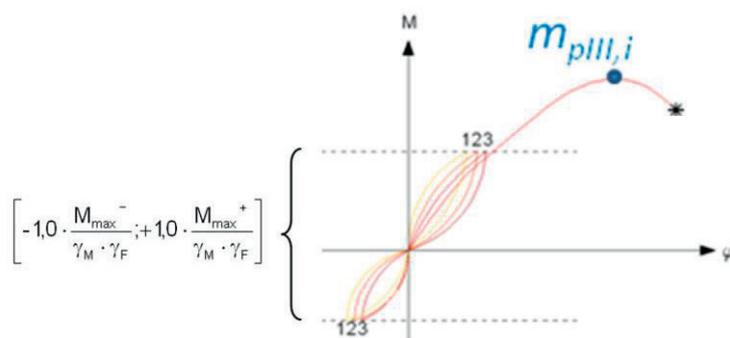


Figura 3.2.3-1. Schematizzazione di una prova pilota del tipo ciclica senza inversione di carico (III metodo) per la valutazione di R_k

Per ognuna delle prove si registrano i valori massimi del carico ottenuti.

Ipotizzando una distribuzione normale logaritmica dei carichi massimi ottenuti, si considera per $R_{k,III}^+$ (valore caratteristico relativo al secondo metodo) il valore caratteristico quale il quantile del 5% per un livello di confidenza del 75% (vedasi nota 11 di [Cor-015]).

Posti $m_{(pIII,1)}^+$, $m_{(pIII,2)}^+$, $m_{(pIII,3)}^+$ i valori massimi del carico per ognuna delle prove eseguite, si avrà:

prova i	1	2	3
$m_{(pII,i)}^+$ (Nm)	$m_{(pII,1)}^+$	$m_{(pII,2)}^+$	$m_{(pII,3)}^+$

Risulterà $R_{k,III}^+ = e^{y_5}$

dove:

$y_5 = \bar{y} - k_{sk} \cdot \sqrt{s_y^2}$ è il quantile del 5% per il livello di confidenza del 75%

$\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i$ è il valore medio dei valori y_i

$y_i = \ln(m_{pIII,i}^+)$ sono i valori logaritmici degli $m_{(p,i)}^+$

$k_{sk} = 3,15$ è il fattore quantile (vedasi nota 12 di [Cor-015]) (per $n=3$) relativo al quantile del 5% per un livello di confidenza del 75%

$s_y^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ è la varianza

s_y è l'errore standard

3.3 Prove pilota per la valutazione di R_k^- (tre metodi alternativi)

In modo analogo alla determinazione di R_k^+ (vedi par. 3.2), determinata la velocità di spostamento imposto v^- nel verso negativo dello spostamento, si può procedere alla valutazione di R_k^- definito in 7.2.2 della UNI EN 12811-3:2005 come valore caratteristico della resistenza nel verso negativo del carico.

Essendo R_k^- valore caratteristico della resistenza, i risultati sperimentali ottenuti per ognuna delle metodologie di prova eseguite verranno trattati statisticamente in modo separato secondo il punto 10 della UNI EN 12811-3:2005 per ottenere i valori $R_{k,I}^-$, $R_{k,II}^-$, $R_{k,III}^-$, relativi ai tre metodi.

Si valuterà a posteriori l'influenza delle tre metodologie sui valori caratteristici R_k^-

3.3.1 I metodo: valutazione di R_k^- con prove monotone nel verso negativo dello spostamento. $R_{k,I}^-$

Per la valutazione di $R_{k,I}^-$, si eseguono gli stessi passi illustrati al paragrafo 3.2.1 effettuando le opportune sostituzioni. Si veda 3.3.1 di [Cor-015].

3.3.2 II metodo: valutazione di R_k^- con prove cicliche senza inversione di carico $R_{k,II}^-$ (influenza della fase ciclica sul valore di R_k^-)

Per la valutazione di $R_{k,II}^-$, si eseguono gli stessi passi illustrati al paragrafo 3.2.2 effettuando le opportune sostituzioni. Si veda 3.3.2 di [Cor-015].

3.3.3 III metodo: valutazione di R_k^- con prove cicliche con inversione di carico. $R_{k,III}^-$ (influenza della inversione di carico nella fase ciclica sul valore di R_k^-)

Per la valutazione di $R_{k,III}^-$, si eseguono gli stessi passi illustrati al paragrafo 3.2.3 effettuando le opportune sostituzioni. Si veda 3.3.3 di [Cor-015].

3.4 Stima del numero di provini necessari per l'esecuzione delle prove pilota

Il numero di provini necessari per l'esecuzione delle prove pilota risulta pari ad almeno 24 con un massimo di inizialmente incognito.

Tale stima risulta dalla somma dei provini necessari alla:

- taratura della strumentazione in termini di velocità di spostamento da imporre (v^+) e (v^-);
- valutazione di R_k^+ (tre metodi alternativi);
- valutazione di R_k^- (tre metodi alternativi).

Per il dettaglio si rimanda a 3.4 di [Cor-015].

3.5 Prove cicliche per la valutazione di $R_{k, \text{nom}}^+$ e di $R_{k, \text{nom}}^-$

Come già accennato in premessa, per la determinazione del valore nominale caratteristico del momento di giunzione per i dispositivi di collegamento montante-traverso del tipo nodo con piastra secondo il punto 7.2 della UNI EN 12811-3:2005, devono essere eseguite delle prove a collasso.

“Prima del carico a rottura, si deve applicare un carico ciclico completo (c_{full}) (...) per misurare il comportamento strutturale caratteristico. (...). Le prove devono essere eseguite in una gamma (range) di carico di

$$\left[+1,0 \cdot \frac{R_k^+}{\gamma_M \cdot \gamma_F}; -1,0 \cdot \frac{R_k^-}{\gamma_M \cdot \gamma_F} \right]$$

dove:

R_k^+ è il valore caratteristico della resistenza nella direzione positiva del carico;

R_k^- è il valore caratteristico della resistenza nella direzione negativa del carico;

γ_M è il fattore parziale di sicurezza per la resistenza;

γ_F è il fattore parziale di sicurezza per l'azione.

A questo livello di carico devono essere eseguiti almeno tre cicli.

Al completamento di tale caricamento, il caricamento deve essere aumentato in una direzione di carico fino alla rottura con alcuni scarichi fino al livello zero.

Dal momento che le resistenze caratteristiche R_k non sono note all'inizio delle prove, si possono accettare valori stimati, per esempio da prove pilota”.

Completate le prove pilota, risultano noti i valori di R_k^+ e di R_k^- secondo i tre metodi proposti ai paragrafi 3.2 e 3.3.

Si definiscono di conseguenza tre valori del range di carico del carico ciclico completo (c_{full}):

$$c_{full,I} : \left[+1,0 \cdot \frac{R_{k,I}^+}{\gamma_M \cdot \gamma_F}; -1,0 \cdot \frac{R_{k,I}^-}{\gamma_M \cdot \gamma_F} \right],$$

$$c_{full,II} : \left[+1,0 \cdot \frac{R_{k,II}^+}{\gamma_M \cdot \gamma_F}; -1,0 \cdot \frac{R_{k,II}^-}{\gamma_M \cdot \gamma_F} \right],$$

$$c_{full,III} : \left[+1,0 \cdot \frac{R_{k,III}^+}{\gamma_M \cdot \gamma_F}; -1,0 \cdot \frac{R_{k,III}^-}{\gamma_M \cdot \gamma_F} \right],$$

Scelto un metodo, al livello di carico c_{full} si eseguono tre cicli.

Oltre tale caricamento, come già anticipato in premessa, la norma non chiarisce con quali modalità il caricamento deve essere aumentato in un verso fino alla rottura, con quanti scarichi fino al livello zero e a quali livelli di carico prima del caricamento definitivo fino al collasso.

Comunque, scelto un verso di carico (positivo o negativo) per portare a rottura il dispositivo di collegamento, si eseguono le prove in controllo di spostamento imponendo la velocità di spostamento v^+ o v^- definita al paragrafo 3.1.4 a seconda della direzione di carico scelta fino a rottura.

Dato che:

$$\left[\frac{1}{\gamma_M \cdot \gamma_F} \right] = \left[\frac{1}{1,1 \cdot 1,5} \right] = \left[\frac{1}{1,65} \right] \approx 0,6$$

la fase ciclica della prova si esegue fino a circa il 60% della resistenza caratteristica R_k , (R_k^+ o R_k^- a seconda della direzione scelta per portare a rottura il dispositivo di collegamento) risultando il range del carico ciclico completo c_{full} pari a:

$$\left[+1,0 \cdot \frac{R_k^+}{\gamma_M \cdot \gamma_F}; -1,0 \cdot \frac{R_k^-}{\gamma_M \cdot \gamma_F} \right] = \left[+1,0 \cdot \frac{R_k^+}{1,65}; -1,0 \cdot \frac{R_k^-}{1,65} \right] = \left[+0,6 \cdot R_k^+; -0,6 \cdot R_k^- \right]$$

Oltre la fase ciclica, scelto un verso di carico, per portare a rottura il dispositivo di collegamento si dovrà caricare per almeno il 40% di R_k .

Essendo R_k un valore caratteristico della resistenza, non necessariamente coincidente con il valore massimo del carico registrato per ognuna delle prove eseguite, possono verificarsi tre possibilità (vedi figura 3.5-1):

1. Il valore massimo M_{max} registrato risulta maggiore di R_k

2. Il valore massimo M_{\max} registrato risulta uguale a R_k
3. Il valore massimo M_{\max} registrato risulta minore di R_k

Di conseguenza il caricamento residuo oltre la fase ciclica per portare il dispositivo al valore massimo e quindi a rottura sarà risultato:

1. maggiore del 40% di R_k
2. uguale al 40% di R_k
3. minore del 40% di R_k

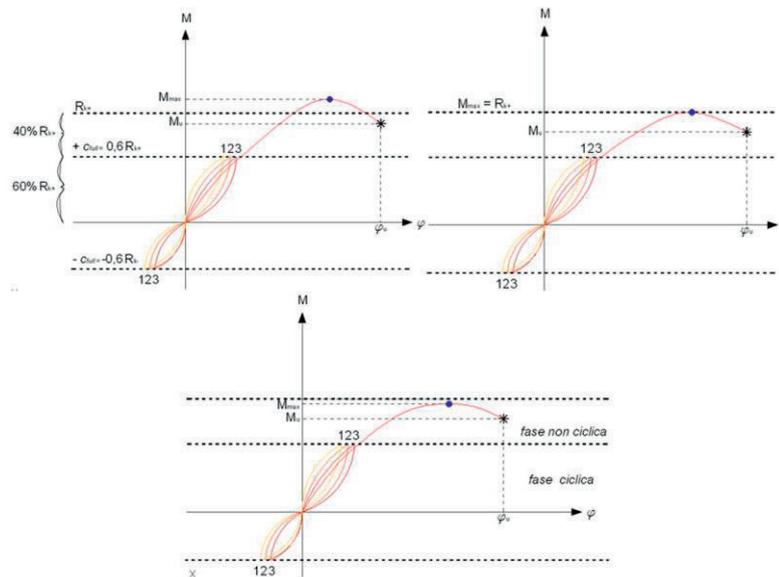


Figura 3.5-1 Schematizzazione della prova a collasso per la valutazione della resistenza del dispositivo di collegamento con rottura nel verso positivo del carico in accordo al punto 7.2 della UNI EN 12811-3:2005. Individuazione del punto di massimo della curva $M-\varphi$. M_{\max} può risultare maggiore uguale o minore di R_k^+

Secondo il punto 5 della UNI EN 12811-3:2005, riportato al paragrafo 2 della presente relazione, “(...) l’ampiezza delle fasi di carico può essere regolata in base al comportamento del componente o della configurazione sottoposti a prova, ma ogni fase non deve essere maggiore del 10% del carico massimo (...)”

Di conseguenza l’ampiezza delle fasi di carico oltre la fase ciclica della prova può essere preliminarmente imposta pari al 10% di R_k , risultando, almeno per i casi in cui M_{\max} registrato risulti maggiore o uguale a R_k :

$$\text{ampiezza fase di carico} = 10\%R_k \leq 10\%M_{\max}$$

e rispettando quindi il requisito appena citato.

In questi due casi il numero di fasi di carico oltre la fase ciclica della prova risulterà:

$$(\text{numero fasi di carico}) \geq 4$$

Per quanto riguarda il caso in cui, avendo imposto a priori un'ampiezza di fase di carico oltre fase ciclica, pari al 10% di R_k , sarà risultato un carico massimo pari a M_{max} minore di R_k , il suddetto requisito non sarà stato più soddisfatto risultando:

$$\text{ampiezza fase di carico} = 10\%R_k > 10\%M_{max}$$

In questo caso la prova dovrà ritenersi non valida e dovrà essere ripetuta imponendo l'ampiezza della fase di carico pari al 10% di M_{max} appena trovato e controllando a posteriori la rispondenza al requisito.

Quanto appena esposto conduce a considerare che il numero di scarichi a zero oltre la fase ciclica della prova consegue al numero di fasi di carico; sarà sempre pari a:

$$(\text{numero scarichi a zero}) = (\text{numero fasi di carico}) - 1 \geq 4 - 1 = 3$$

e funzione del carico massimo ottenuto.

Tornando alle considerazioni sui c_{full} , i tre metodi condurranno a posteriori a valutare l'influenza dell'ampiezza della fase ciclica sul valore della resistenza.

3.5.1 Prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,I}$

Si eseguono cinque prove a rottura in controllo di spostamenti e imponendo la velocità di spostamento costante $|v^+|$.

Per ognuna delle prove, partendo dal livello di carico nullo, imponendo inizialmente uno spostamento positivo alla velocità v^+ , si eseguiranno i seguenti passi (vedi il diagramma di flusso alla figura 3.5.1-1)

1. Tre cicli completi al livello di carico $c_{full,I}$, mantenendo costante la velocità $|v^+|$ anche quando si inverte il carico;
2. Raggiunto il carico nullo, completato il terzo ciclo, si pone $P = R_{k,I}^+$ e si carica fino al livello

$$\left[+1,0 \cdot \frac{R_{k,I}^+}{\gamma_M \cdot \gamma_F} + 10\% \cdot P \right] = \left[+0,6 \cdot R_{k,I}^+ + 0,1 \cdot P \right]$$

3. Qualora sia intervenuta la rottura, si registra il carico massimo M_{max}^+ , si ricomincia la prova dal passo 1 e percorrendo il passo 2 ponendo
4. Qualora non sia intervenuta la rottura del dispositivo, si scarica fino al livello di carico nullo.
5. Si carica ulteriormente fino al livello

$$\left[+0,7 \cdot R_{k,I}^+ + 0,1 \cdot R_{k,I}^+ \right] = 0,8 \cdot R_{k,I}^+$$

6. Qualora sia intervenuta la rottura, si ritorna al passo 3.
7. Qualora non sia intervenuta la rottura del dispositivo, si scarica fino al livello di carico nullo.

8. Si carica ulteriormente fino al livello

$$\left[+0,8 \cdot R_{k,I}^+ + 0,1 \cdot R_{k,I}^+ \right] = +0,9 \cdot R_{k,I}^+$$

9. Qualora sia intervenuta la rottura, si ritorna al passo 3.
 10. Qualora non sia intervenuta la rottura del dispositivo, si scarica fino al livello di carico nullo.
 11. Si carica ulteriormente fino al livello

$$\left[+0,9 \cdot R_{k,I}^+ + 0,1 \cdot R_{k,I}^+ \right] = R_{k,I}^+$$

12. Qualora sia intervenuta la rottura, prima del valore $R_{k,I}^+$ si ritorna al passo 3.
 13. Qualora sia intervenuta la rottura, al valore $R_{k,I}^+$ si registra il $M_{rott,i}^{l+}$ e la prova risulta completata e valida
 14. Qualora non sia intervenuta la rottura del dispositivo, si scarica fino al livello di carico nullo.
 15. Si carica ulteriormente fino al livello

$$\left[R_{k,I}^+ + 0,1 \cdot R_{k,I}^+ \right] = 1,1 \cdot R_{k,I}^+$$

16. Qualora sia intervenuta la rottura, si registra il $M_{rott,i}^{l+}$ e la prova risulta completata e valida
 17. Qualora non sia intervenuta la rottura del dispositivo, si scarica fino al livello di carico nullo, si ricarica oltre la fase di carico precedente con incremento di carico pari a $0,1 R_{k,I}^+$.
 18. Si ripete il punto 17 fino al raggiungimento della rottura del dispositivo. Si registra il carico massimo pari a $M_{rott,i}^{l+}$ e la prova risulta completata e valida.

Devono essere eseguite 5 prove descritte ai passi dall'1 al 18.

Risulteranno, per ognuna delle prove eseguite, i seguenti valori del carico massimo relativo al $c_{full} = c_{full,I}$

prova i	1	2	3	4	5
$M_{rott,i}^{l+}$ (Nm)	$M_{rott,1}^{l+}$	$M_{rott,2}^{l+}$	$M_{rott,3}^{l+}$	$M_{rott,4}^{l+}$	$M_{rott,5}^{l+}$

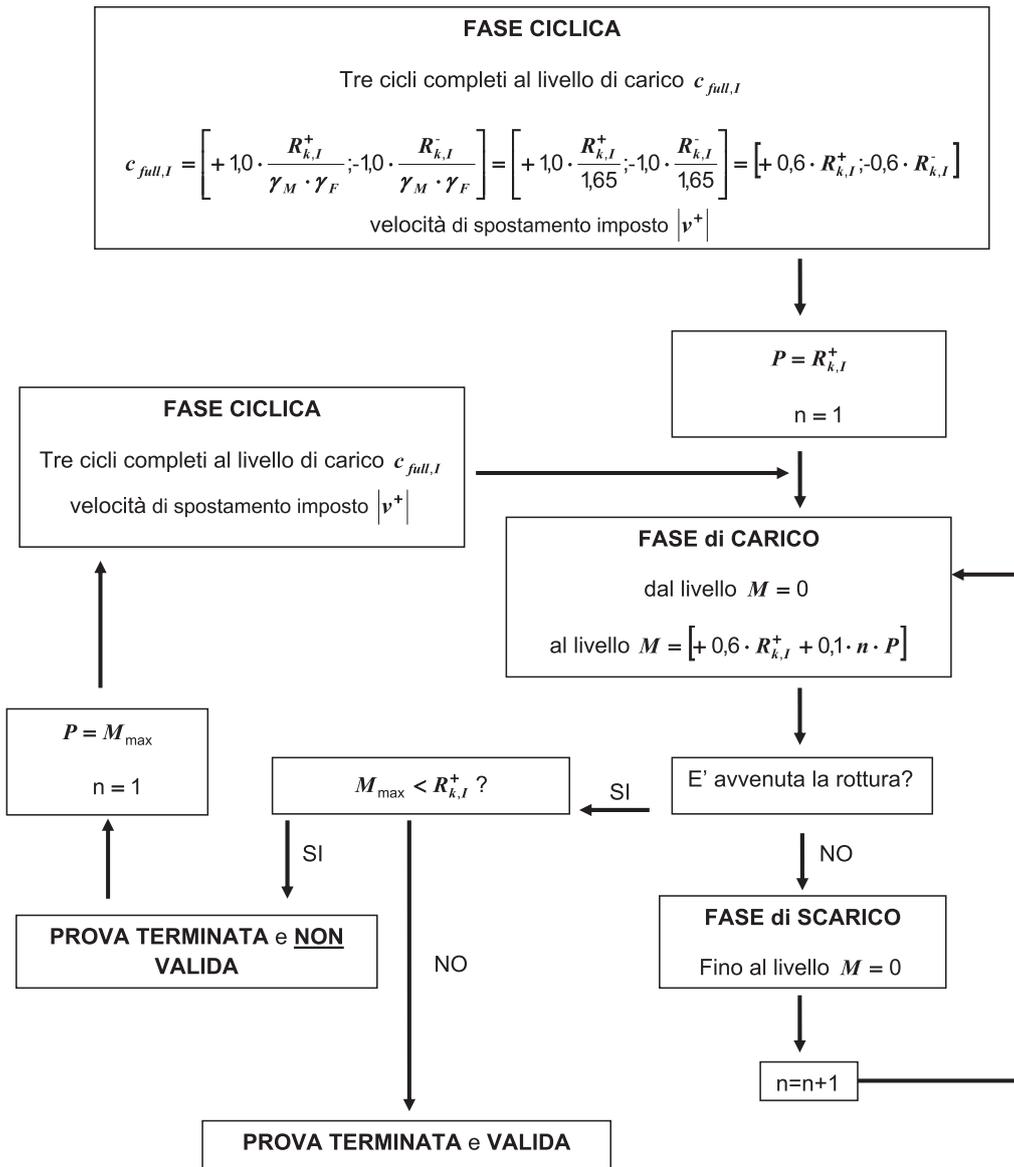


Figura 3.5.1-1 Diagramma di flusso

3.5.2 Prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,II}$

Le prove sperimentali per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,II}$ si eseguono in modo analogo alle prove descritte al paragrafo 3.5.1, effettuando le opportune sostituzioni. Si veda 3.5.2 di [Cor-015].

3.5.3 Prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,III}$

Le prove sperimentali per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,III}$ si eseguono in modo analogo alle prove descritte al paragrafo 3.5.1, effettuando le opportune sostituzioni. Si veda 3.5.3 di [Cor-015].

3.5.4 Prove cicliche per la valutazione di $R_{k, \text{nom}}^-$ utilizzando il $c_{\text{full}, I}$

Si eseguono cinque prove a rottura in controllo di spostamenti e imponendo la velocità di spostamento costante $|v^-|$.

Per ognuna delle prove, partendo dal livello di carico nullo, imponendo inizialmente uno spostamento negativo alla velocità v^- , si eseguiranno i seguenti passi:

1. Tre cicli completi al livello di carico $c_{\text{full}, I}$, mantenendo costante la velocità $|v^-|$ anche quando si inverte il carico;
2. Raggiunto il carico nullo, completato il terzo ciclo, si carica fino al livello

$$\left[-1,0 \cdot \frac{R_{k, I}^-}{\gamma_M \cdot \gamma_F} - 10\% \cdot R_{k, I}^- \right] = \left[-0,6 \cdot R_{k, I}^- - 0,1 \cdot R_{k, I}^- \right] = -0,7 \cdot R_{k, I}^-$$

3. Qualora sia intervenuta la rottura, si registra il carico massimo M_{max}^- , si ricomincia la prova dal passo 1 e percorrendo il passo 2 sostituendo $R_{k, I}^-$ con M_{max}^- .
4. Qualora non sia intervenuta la rottura del dispositivo, si scarica fino al livello di carico nullo.
5. Si carica ulteriormente fino al livello

$$\left[-0,7 \cdot R_{k, I}^- - 0,1 \cdot R_{k, I}^- \right] = -0,8 \cdot R_{k, I}^-$$

6. Qualora sia intervenuta la rottura, si ritorna al passo 3.
7. Qualora non sia intervenuta la rottura del dispositivo, si scarica fino al livello di carico nullo.
8. Si carica ulteriormente fino al livello

$$\left[-0,8 \cdot R_{k, I}^- - 0,1 \cdot R_{k, I}^- \right] = -0,9 \cdot R_{k, I}^-$$

9. Qualora sia intervenuta la rottura, si ritorna al passo 3.
10. Qualora non sia intervenuta la rottura del dispositivo, si scarica fino al livello di carico nullo.
11. Si carica ulteriormente fino al livello

$$\left[-0,9 \cdot R_{k, I}^- - 0,1 \cdot R_{k, I}^- \right] = -R_{k, I}^-$$

12. Qualora sia intervenuta la rottura, prima del valore $R_{k, I}$ si ritorna al passo 3.
13. Qualora sia intervenuta la rottura, al valore $R_{k, I}$ si registra il $M_{\text{rott}, i}^I$ e la prova risulta completata e valida.
14. Qualora non sia intervenuta la rottura del dispositivo, si scarica fino al livello di carico nullo.
15. Si carica ulteriormente fino al livello

$$\left[-R_{k, I}^- - 0,1 \cdot R_{k, I}^- \right] = -1,1 \cdot R_{k, I}^-$$

16. Qualora sia intervenuta la rottura, si registra il $M_{\text{rott}, i}^I$ e la prova risulta completata e valida.
17. Qualora non sia intervenuta la rottura del dispositivo, si scarica fino al livello di carico nullo, si ricarica oltre la fase di carico precedente con incremento di carico pari a $0,1 R_{k, I}^-$.

18. Si ripete il punto 17 fino al raggiungimento della rottura del dispositivo. Si registra il carico massimo pari a $M_{rott,i}^I$ e la prova risulta completata e valida.

Devono essere eseguite 5 prove descritte ai passi dall'1 al 18.

Risulteranno, per ognuna delle prove eseguite, i seguenti valori del carico massimo relativo al $c_{full} = c_{full,i}$:

prova i	1	2	3	4	5
$M_{rott,i}^I$ (Nm)	$M_{rott,1}^I$	$M_{rott,2}^I$	$M_{rott,3}^I$	$M_{rott,4}^I$	$M_{rott,5}^I$

3.5.5 Prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,II}$

Le prove sperimentali per la valutazione di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,II}$ si eseguono in modo analogo alle prove descritte al paragrafo 3.5.4, effettuando le opportune sostituzioni. Si veda 3.5.5 di [Cor-015].

3.5.6 Prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,III}$

Le prove sperimentali per la valutazione di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,III}$ si eseguono in modo analogo alle prove descritte al paragrafo 3.5.4, effettuando le opportune sostituzioni. Si veda 3.5.6 di [Cor-015].

3.6 Stima del numero di provini necessari per l'esecuzione delle prove pilota

Il numero di provini necessari per l'esecuzione delle prove cicliche risulta pari ad almeno 30 con un massimo inizialmente incognito.

Tale stima viene eseguita considerando che secondo il punto 7.2.2 della UNI EN 12811-3:2005 "almeno cinque prove devono essere eseguite per ogni parametro tracciato" e sommando il numero di provini necessari alla:

- valutazione di $R_{k,nom}^+$ e di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,I}$;
- valutazione di $R_{k,nom}^+$ e di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,II}$;
- valutazione di $R_{k,nom}^+$ e di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,III}$.

Per il dettaglio si rimanda a 3.6 di [Cor-015].

3.7 Valutazione di $R_{k,nom}^+$ e di $R_{k,nom}^-$ dai risultati delle prove sperimentali

Eseguite le prove sperimentali, i valori nominali $R_{k,nom}^+$ e $R_{k,nom}^-$ della resistenza caratteristica possono essere determinati secondo il punto 10 della UNI EN 12811-3:2005. Tale valutazione risulta a carico del progettista e non dell'ente preposto all'esecuzione delle prove sperimentali.

Si procederà comunque alla valutazione dei suddetti valori nominali della resistenza non appena saranno noti i risultati sperimentali.

I tre metodi proposti per la valutazione di R_k^+ (vedi paragrafo 3.2) e di R_k^- (vedi paragrafo 3.3) potenzialmente conducono alla definizione di tre valori del range di carico del carico ciclico completo (c_{full}) (vedi paragrafo 3.5) che rappresentano l'ampiezza della fase ciclica delle prove a rottura. Di conseguenza i tre metodi, conducendo anche alla determinazione di tre valori per $R_{k,nom}^+$ ($R_{k,nom,I}^+$, $R_{k,nom,II}^+$, $R_{k,nom,III}^+$) e di tre valori per $R_{k,nom}^-$ ($R_{k,nom,I}^-$, $R_{k,nom,II}^-$, $R_{k,nom,III}^-$), permetteranno di valutare a posteriori l'influenza dell'ampiezza della fase ciclica sul valore nominale della resistenza caratteristica.

4 Fase sperimentale

Lo scopo della sperimentazione è quello di acquisire degli elementi utili per la messa a punto delle procedure di prova per le prove sperimentali secondo la UNI EN 12810-2:2004 e la UNI EN 12811-3:2005, necessarie alla valutazione del valore nominale del momento di giunzione caratteristico dei dispositivi di collegamento montante-traverso.

In particolare la sperimentazione ha riguardato esclusivamente l'esecuzione delle prove cosiddette "pilota".

Sono stati sottoposti a prova i dispositivi di collegamento montante-traverso del tipo nodo con piastra.

La geometria degli elementi sottoposti a prova è riportata nei disegni di figura 4-1 che segue.

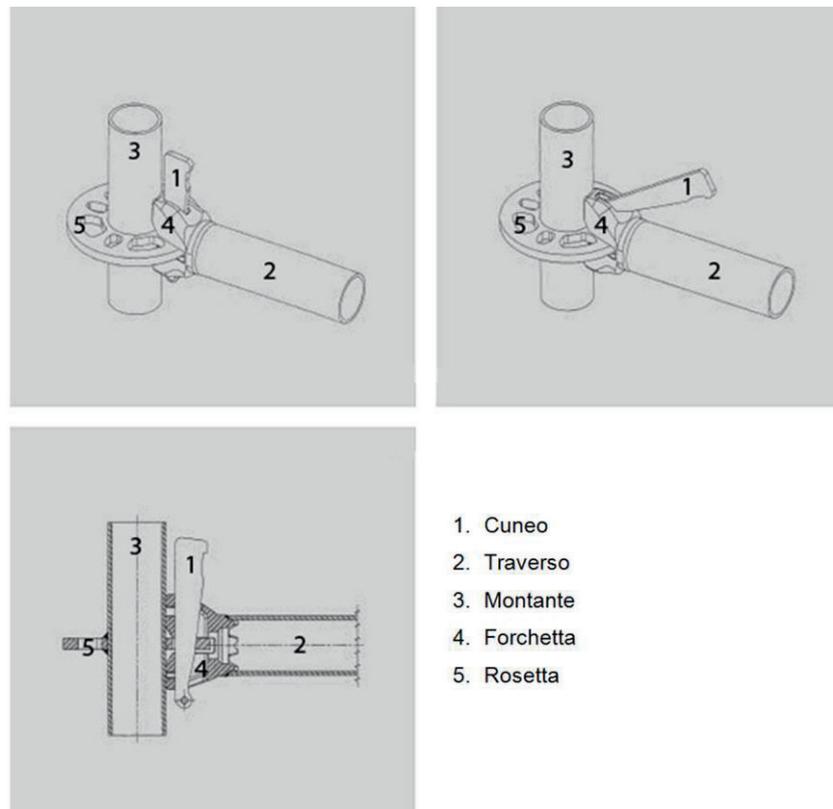


Figura 4-1 Geometria e nomenclatura degli elementi sottoposti a prova

Sulla base delle considerazioni contenute nel capitolo 3, scelta la convenzione dei carichi e degli spostamenti riportata in figura 4-2 sono state eseguite prove pilota di tipo monotono in controllo di spostamento, sia nel verso negativo che positivo.

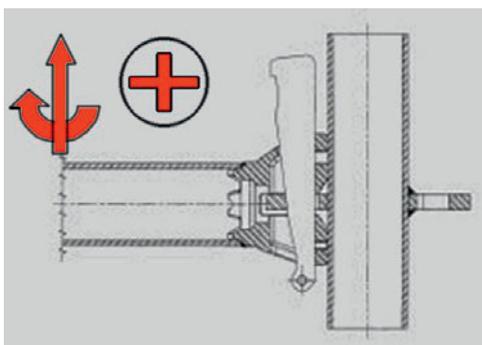


Figura 4-2 Convenzione dei segni per i carichi e gli spostamenti

Inizialmente sono state eseguite prove pilota per la determinazione della corretta velocità di spostamento da imporre (v):

- per spostamenti negativi (Prove 1MNPPV)
- per spostamenti positivi (Prove 1MPPPV).

Successivamente sono state eseguite prove pilota per la stima del carico massimo (carico massimo stimato)

- per spostamenti negativi (Prove 1MNPPS)
- per spostamenti positivi (Prove 1MPPPS).

Le prove suddette sono state eseguite con il seguente ordine cronologico, alternando prove negative a prove positive:

1. Prova 1MNPPV1 (monotona negativa)
2. Prova 1MNPPV2 (monotona negativa)
3. Prova 1MNPPV3 (monotona negativa)
4. Prova 1MNPPS2 (monotona negativa)
5. Prova 1MNPPS3 (monotona negativa)
6. Prova 1MPPPV1 (monotona positiva)
7. Prova 1MPPPV2 (monotona positiva)
8. Prova 1MPPPS2 (monotona positiva)
9. Prova 1MPPPS3 (monotona positiva)
10. Prova 1MPPPS4 (monotona positiva)

La procedura di prova è stata modificata in itinere sulla base delle risultanze sperimentali delle prove appena eseguite.

Le risultanze sperimentali a questo livello di indagine hanno evidenziato un diverso comportamento del dispositivo di collegamento nella direzione positiva rispetto alla direzione negativa dello spostamento imposto. Le differenze riguardano essenzialmente la forma della curva carico-tempo e carico-rotazione. Se per le prove negative è possibile individuare una condizione di picco del carico oltre il quale la resistenza decresce definitivamente, per le prove positive tale condizione non è facilmente individuabile, visto che il dispositivo è in grado di opporre resistenza fino a elevati carichi e con grandi rotazioni e dopo il verificarsi di diversi fenomeni di incrudimento.

Tale diverso comportamento strutturale ha evidenziato la difficoltà di definire il carico massimo soprattutto per le prove positive, e ha suggerito di approfondire il comportamento del dispositivo anche per le prove negative, andando oltre la condizione di primo massimo della curva carico-tempo.

La ricerca si è concentrata quindi sullo studio del dispositivo di collegamento dal punto di vista delle deformazioni degli elementi che lo costituiscono, mettendo in relazione i livelli di carico raggiunti con il verificarsi di alcuni eventi macroscopici rilevati ad occhio nudo, quali:

per le prove negative:

- a. Il formarsi di aria al contatto tra il montante e la forchetta del traverso nella porzione superiore;
- b. L'imbozzamento del montante al contatto con il traverso;
- c. Il contatto fra il cuneo e il montante.

per le prove positive:

- a. Il formarsi di aria al contatto tra il montante e la forchetta del traverso nella porzione inferiore;
- b. L'imbozzamento del montante al contatto con il traverso;
- c. Il contatto fra il cuneo e il montante.

Sono state quindi eseguite ulteriori prove monotone negative e positive (1MNPPS4-5-6 e 1MPPPS5-6-7-8).

Inoltre sono state eseguite prove con carichi ripetuti (2CNPP1 e 2CPPP1, 3CNPP1 e 3CPPP1 con carico applicato e rimosso più volte a diversi livelli di carico, ma senza inversione di segno) e prove cicliche (4CNPP1 e 4CPPP1 eseguendo cicli di carico passando per lo zero con inversione di segno).

Per ogni prova sperimentale eseguita si descriverà nel seguito:

1. la disposizione e il procedimento di prova;
2. i risultati sperimentali.

4.1 Disposizione e procedimento di prova

Ogni prova è stata eseguita mediante una macchina universale e idonea attrezzatura per l'applicazione del carico.

Ogni prova è stata condotta utilizzando un tratto di montante e un traverso. Il tratto di montante è stato bloccato in corrispondenza delle estremità in modo che il dispositivo di collegamento fosse risultato nella mezzeria. Su tale dispositivo è stato montato il traverso, con le modalità previste dal costruttore. Ciascun collegamento è stato assemblato e smontato tre volte prima dell'assemblaggio per ogni prova (7.1 di UNI EN 12811-3:2005).

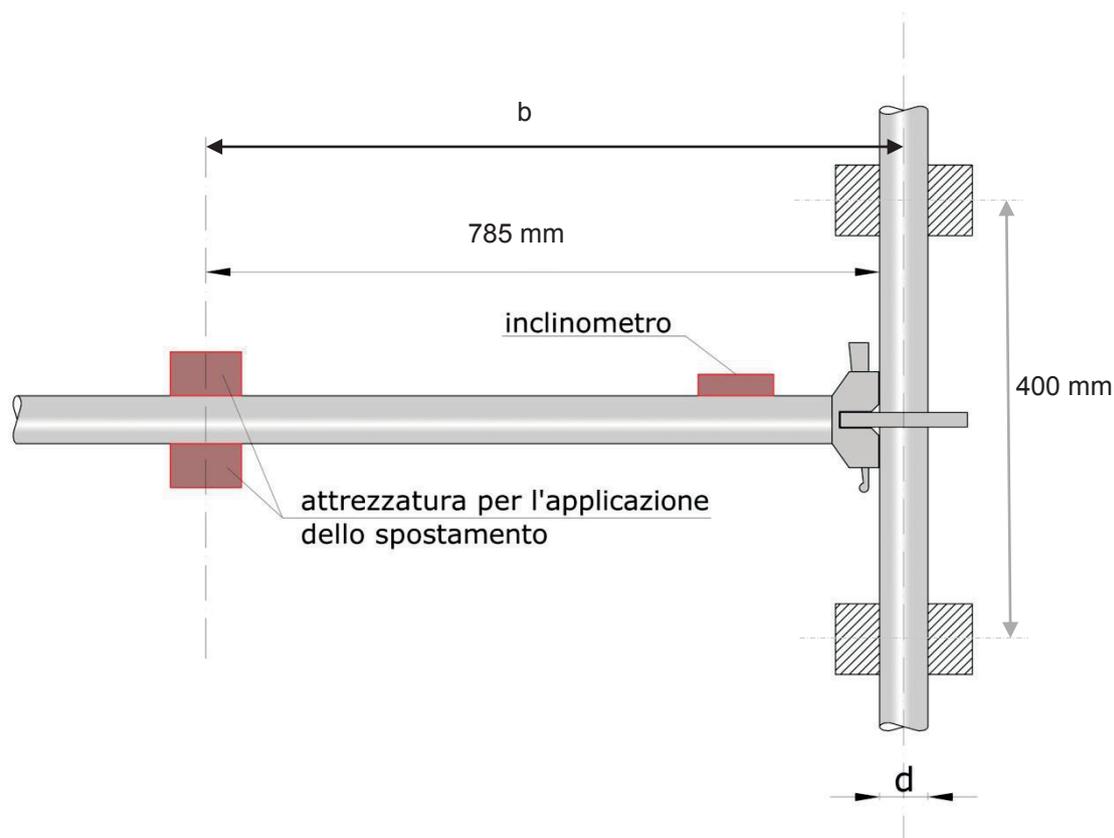


Figura 4.1-1 Schema di prova

La prova è stata eseguita in controllo di spostamento, imponendo uno spostamento verticale della traversa della macchina con velocità costante pari a 10mm/min per le prove 1MNPPV1,V2 e 1MPPPV1 e pari a 5 mm/min per tutte le altre prove.

Le seguenti grandezze sono state registrate ogni 5 sec:

1. Carico (kg_p) al contatto con il traverso;
2. Rotazione ($^\circ$) del traverso in corrispondenza del collegamento al montante.

Lo spostamento controllato della traversa è stato trasferito al traverso (tubo) per mezzo di una attrezzatura rigida (vedi figura 4.1-2)

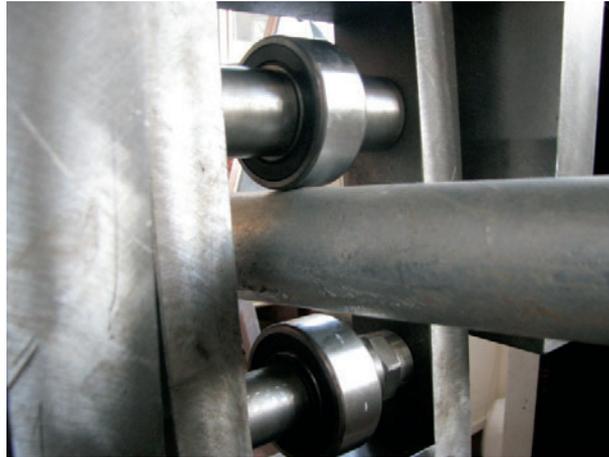


Figura 4.1-2 Accessorio per il trasferimento dello spostamento della traversa della macchina di prova al traverso del dispositivo di collegamento sottoposto a prova

Una cella di carico all'interfaccia traversa-tubo ha permesso di rilevare il carico conseguente applicato al traverso. La geometria della suddetta attrezzatura rigida e la procedura di assemblaggio del dispositivo di collegamento della prova ha garantito che il carico applicato al traverso rimanesse sempre verticale nel piano passante per l'asse del traverso stesso.

Il carico applicato al traverso è risultato ad una distanza dall'asse del montante pari a (vedi figura 4.1-1)

$$b \text{ (mm)} = 785 + d/2$$

con d diametro esterno del montante.

La rotazione del collegamento è stata misurata attraverso un inclinometro digitale montato in modo solidale al traverso, il più possibile in prossimità dell'innesto con il montante.

Durante le prove sono stati annotati gli istanti corrispondenti al verificarsi di eventi macroscopici, rilevati ad occhio nudo, quali:

- a. Il formarsi di aria al contatto tra il montante e la forchetta del traverso nella porzione superiore (per le prove negative, vedi figura 4.1-3.a) o inferiore (per le prove positive, vedi figura 4.1-4.a)
- b. L'imbozzamento del montante al contatto con il traverso nella porzione inferiore (per le prove negative, vedi figura 4.1-3.b) o superiore (per le prove positive, vedi figura 4.1-4.b);
- c. Il contatto fra il cuneo e il montante nella porzione inferiore (per le prove negative, vedi figura 4.1-3.c) o superiore (per le prove positive, vedi figura 4.1-4.c).

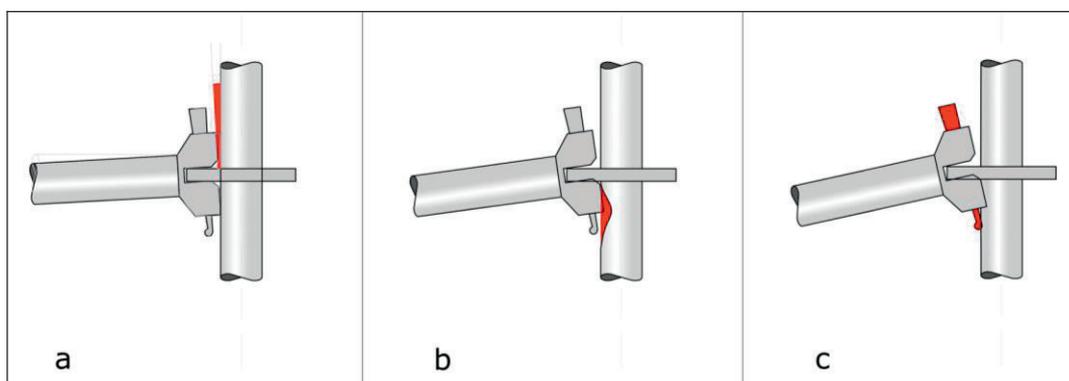


Figura 4.1-3 Schematizzazione degli eventi macroscopici rilevati ad occhio durante le prove con spostamento imposto negativo: a. formazione di aria al contatto tra montante e forchetta del traverso; b. imbozzamento del montante al contatto con il traverso; c. contatto fra cuneo e montante.

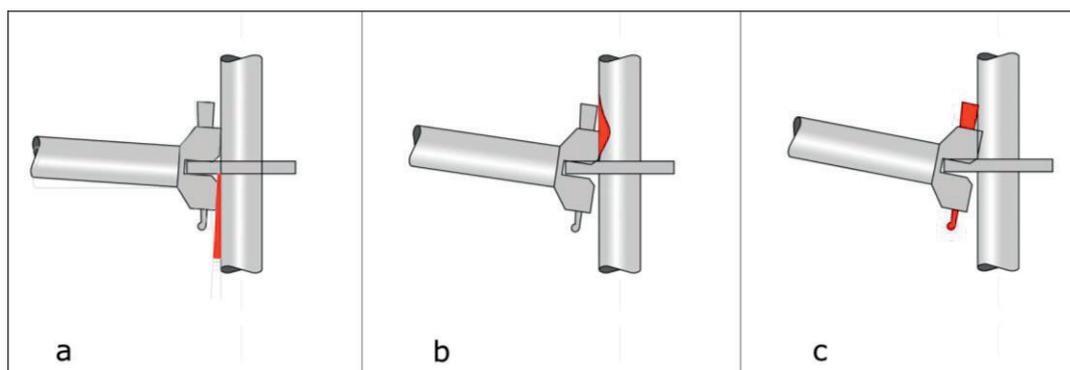


Figura 4.1-4 Schematizzazione degli eventi macroscopici rilevati ad occhio durante le prove con spostamento imposto positivo: a. formazione di aria al contatto tra montante e forchetta del traverso; b. imbozzamento del montante al contatto con il traverso; c. contatto fra cuneo e montante.

Contemporaneamente sono state scattate delle fotografie a documentazione della deformazione del sistema.

Tali istanti sono stati poi evidenziati nelle curve carico-tempo e carico-rotazione.

Al termine di ogni prova sono state scattate altre fotografie dei componenti deformati.

Tale procedura è stata resa sistematica in itinere, pertanto alcuni grafici non presentano l'evidenziazione dei fenomeni suddetti o le fotografie corrispondenti.

I requisiti della UNI EN 12811-3:2005 (riportati al paragrafo 2) impongono il controllo della velocità di carico espressa in [carico]/min, conseguente alla velocità di spostamento imposto alla

traversa. Tale controllo è in funzione del carico massimo registrato per la prova effettuata, secondo la seguente formula:

$$\max(v_c) \leq v_{\max} \quad (4-1)$$

$$\text{con } v_{\max} = \frac{0,25 \cdot |F_{\max}|}{\min}$$

Al termine di ogni prova, quindi, è stato effettuato tale controllo, diminuendo eventualmente la velocità di spostamento per le prove successive fino a verificare la condizione (4-2).

La velocità di carico è stata calcolata come velocità media per ogni minuto:

$$v_i = F(i-1) - F_i \text{ con } i=1,2,..t_{\text{fin}} \text{ (min)} \quad \text{per prove monotone negative}$$

$$v_i = F_i - F(i-1) \text{ con } i=1,2,..t_{\text{fin}} \text{ (min)} \quad \text{per prove monotone positive.}$$

4.2 Risultati sperimentali

4.2.1 Prove 1MNPP

Le prove 1MNPP sono prove pilota monotone nel verso negativo dello spostamento (spostamento della traversa verso il basso).

Sono state eseguite sottoponendo il dispositivo di collegamento alle azioni riportate nello schema seguente, avendo imposto alla traversa della macchina a contatto con il traverso, uno spostamento verso il basso.

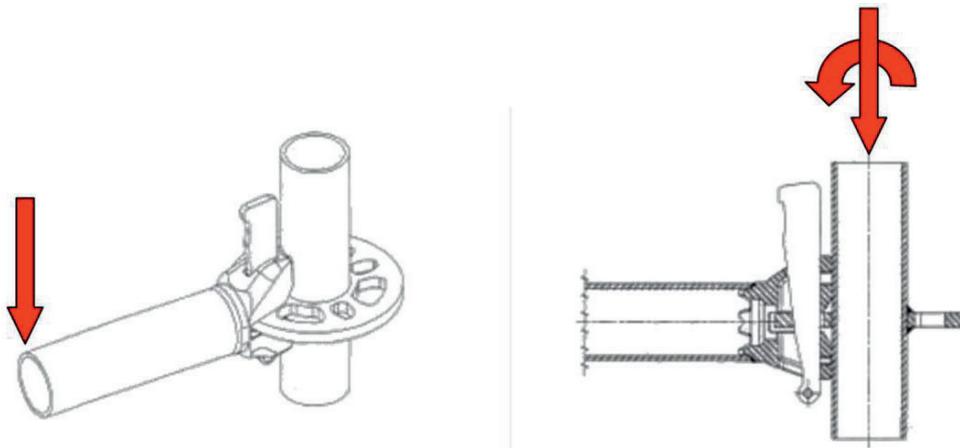


Figura 4.2.1-1 Schema di applicazione dello spostamento e azioni al nodo

La velocità di spostamento di primo tentativo è stata imposta inizialmente pari a $v=10$ mm/min, ed è stato registrato il carico massimo per ogni prova. A prova terminata è stato verificato se la velocità di carico statico (conseguente allo spostamento imposto) risultasse minore del 25% del carico massimo, registrato per la prova appena eseguita, al minuto.

Visto che tale verifica è risultata negativa per le prove 1MNPPV1 e 1MNPPV2, la velocità di spostamento è stata poi diminuita a $v = 5$ mm/min. Tale velocità di spostamento ha soddisfatto la suddetta verifica sulla velocità di carico ed è stata quindi imposta per le ulteriori prove pilota.

4.2.1.1 Prova 1MNPPV1

Velocità di spostamento imposto $v = 10 \text{ mm/min}$

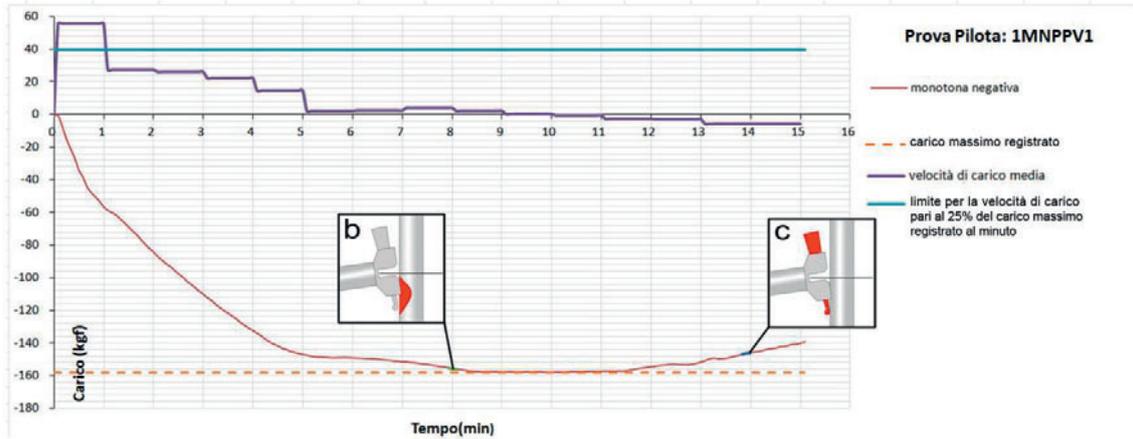


Figura 4.2.2.1-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min). Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato. Individuazione dei punti B e C corrispondenti al verificarsi degli eventi b e c descritti in figura 4.1-3.

- Massimo carico registrato: $|F_{\max}| = |-158,12\text{kg}_f = 158,12\text{kg}_f$
- Calcolo del limite per la velocità di carico:

$$v_{\max} = \frac{0,25 \cdot |F_{\max}|}{\min} = 0,25 \cdot 158,12\text{kg}_f / \text{min} = 39,53\text{kg}_f / \text{min}$$
- Massima velocità di carico durante la prova: $\max(v_c) = 55,96\text{kg}_f / \text{min}$ nel primo minuto
- Verifica della velocità di carico: $\max(v_c) \leq v_{\max}$ negativa. *Prova non valida. Occorre diminuire la velocità di spostamento.*

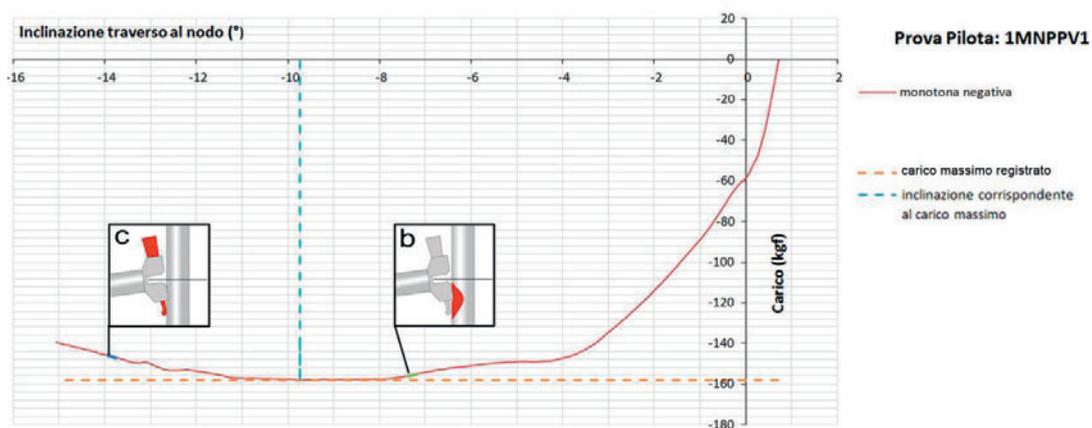


Figura 4.2.2.1-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente. Individuazione dei punti B e C corrispondenti al verificarsi degli eventi b e c descritti in figura 4.1-3

4.2.1.2 Prova 1MNPPV2

Velocità di spostamento imposto $v = 10 \text{ mm/min}$

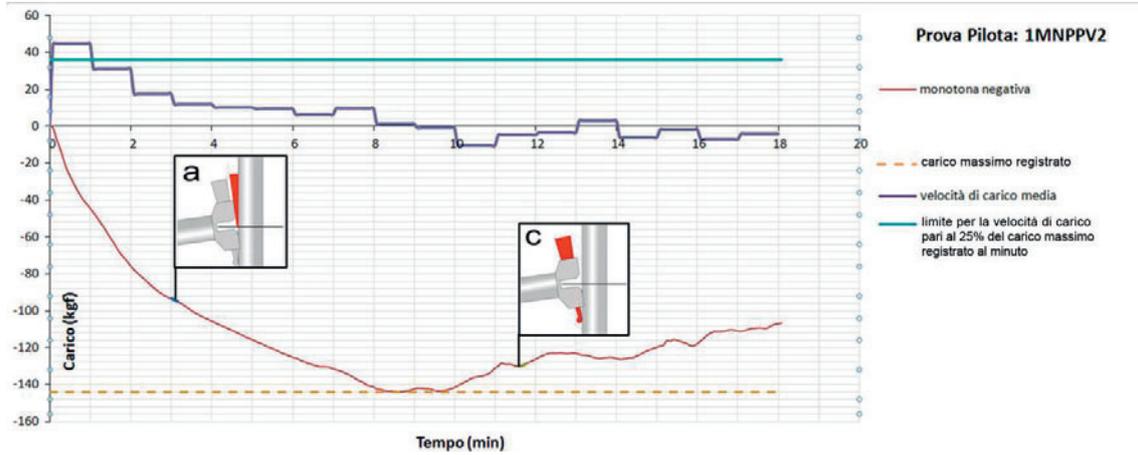


Figura 4.2.1.2-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min). Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato. Individuazione dei punti A e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a e c descritti in figura 4.1-3.

- Massimo carico registrato: $|F_{\max}| = |-144,03|\text{kg}_f = 144,03\text{kg}_f$
- Limite per la velocità di carico: $v_{\max} = \frac{0.25 \cdot |F_{\max}|}{\text{min}} = 0.25 \cdot 144,03\text{kg}_f / \text{min} = 36,01\text{kg}_f / \text{min}$
- Massima velocità di carico durante la prova: $\max(v_c) = 44,73\text{kg}_f/\text{min}$ nel primo minuto
- Verifica della velocità di carico: $\max(v_c) \leq v_{\max}$ negativa. *Prova non valida. Occorre diminuire la velocità di spostamento.*

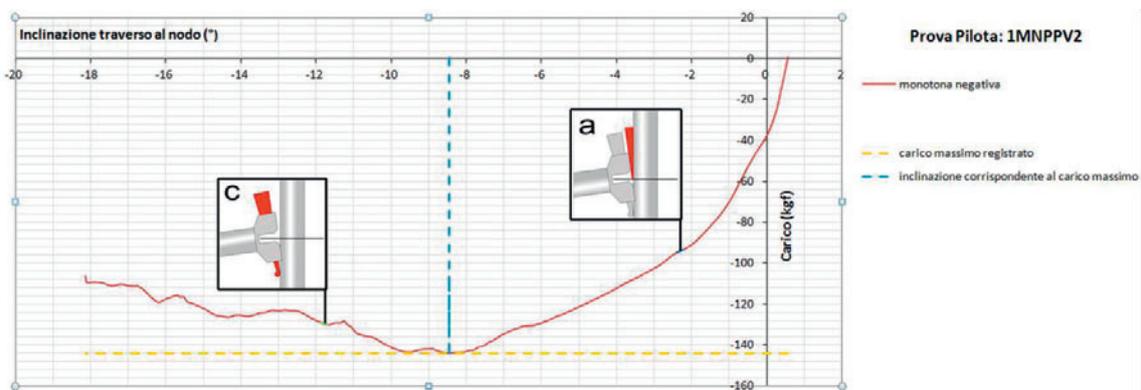


Figura 4.2.1.2-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo. Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente. Individuazione dei punti A e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a e c descritti in figura 4.1-3.

4.2.1.3 Prova 1MNPPV3 = 1MNPPS1

Velocità di spostamento imposto $v = 5 \text{ mm/min}$

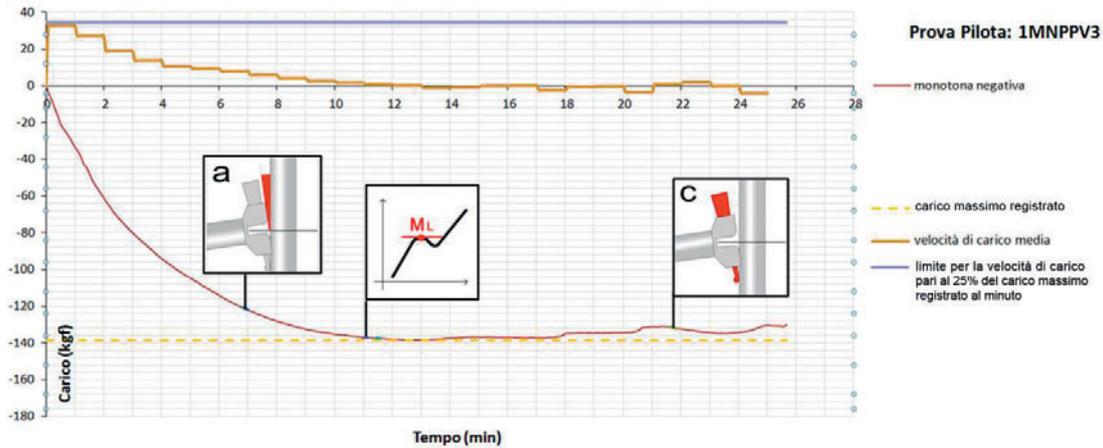


Figura 4.2.1.3-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg/min). Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato. Individuazione dei punti A e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a e c descritti in figura 4.1-3. Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

- Massimo carico registrato: $|F_{\max}| = |-138,40| \text{kg}_f = 138,40 \text{kg}_f$
- Limite per la velocità di carico: $v_{\max} = \frac{0.25 \cdot |F_{\max}|}{\text{min}} = \frac{0.25 \cdot 138,40 \text{kg}_f}{\text{min}} = 34,60 \text{kg}_f / \text{min}$
- Massima velocità di carico durante la prova: $\max(v_c) = 33,19 \text{kg}_f / \text{min}$ nel primo minuto
- Verifica della velocità di carico: $\max(v_c) \leq v_{\max}$ positiva. *Prova valida.*

Si eseguiranno ulteriori n. 2 prove pilota per la stima del carico massimo con velocità di spostamento $v=5 \text{ mm/min}$.

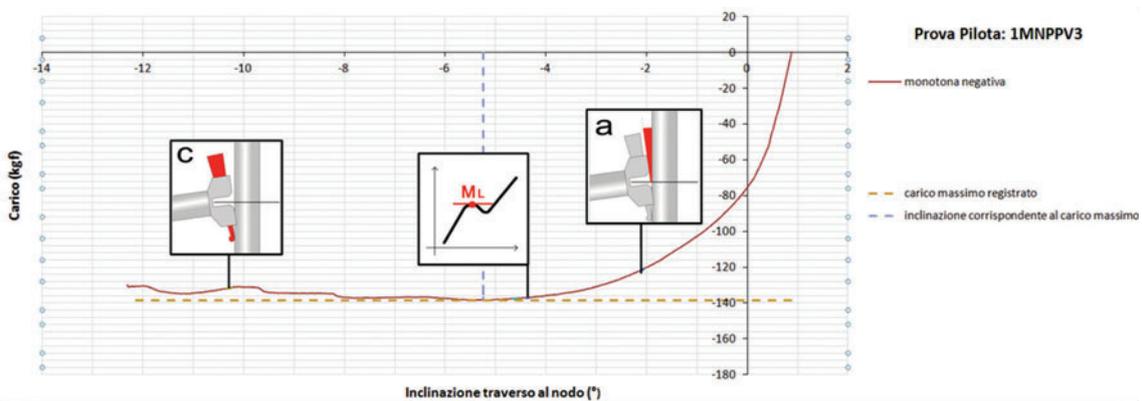


Figura 4.2.1.3-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo. Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente. Individuazione dei punti A e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a e c descritti in figura 4.1-3. Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

4.2.1.4 Prova 1MNPPS2

Velocità di spostamento imposto $v = 5 \text{ mm/min}$

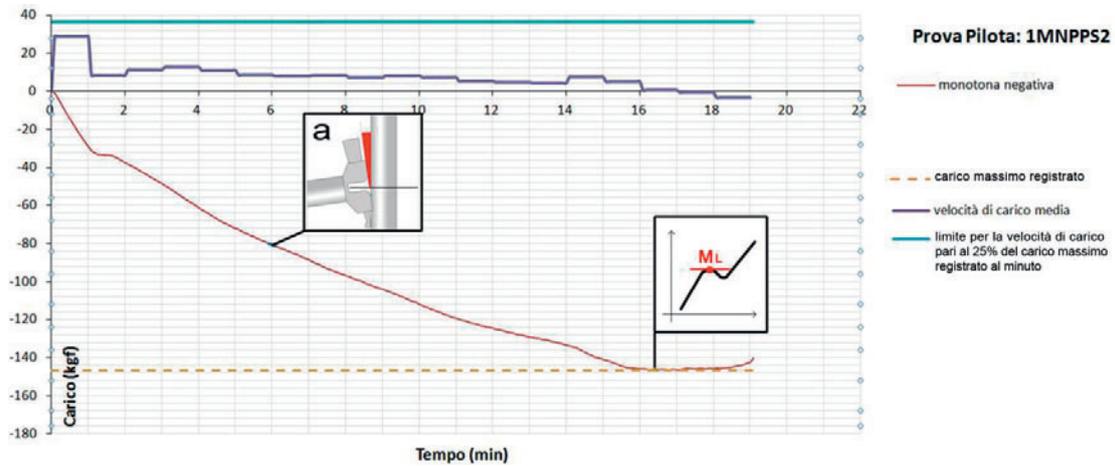


Figura 4.2.1.4-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kgf/min). Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato. Individuazione del punto A corrispondente al verificarsi dell'evento a descritto in figura 4.1-3. Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

- Massimo carico registrato: $|F_{\max}| = |-146,58| \text{kg}_f = 146,58 \text{kg}_f$
- Limite per la velocità di carico: $v_{\max} = \frac{0.25 \cdot |F_{\max}|}{\text{min}} = \frac{0.25 \cdot 146,58 \text{kg}_f}{\text{min}} = 36,65 \text{kg}_f / \text{min}$
- Massima velocità di carico durante la prova: $\max(v_c) = 28,94 \text{kg}_f / \text{min}$ nel primo minuto
- Verifica della velocità di carico: $\max(v_c) \leq v_{\max}$ positiva. *Prova valida.*

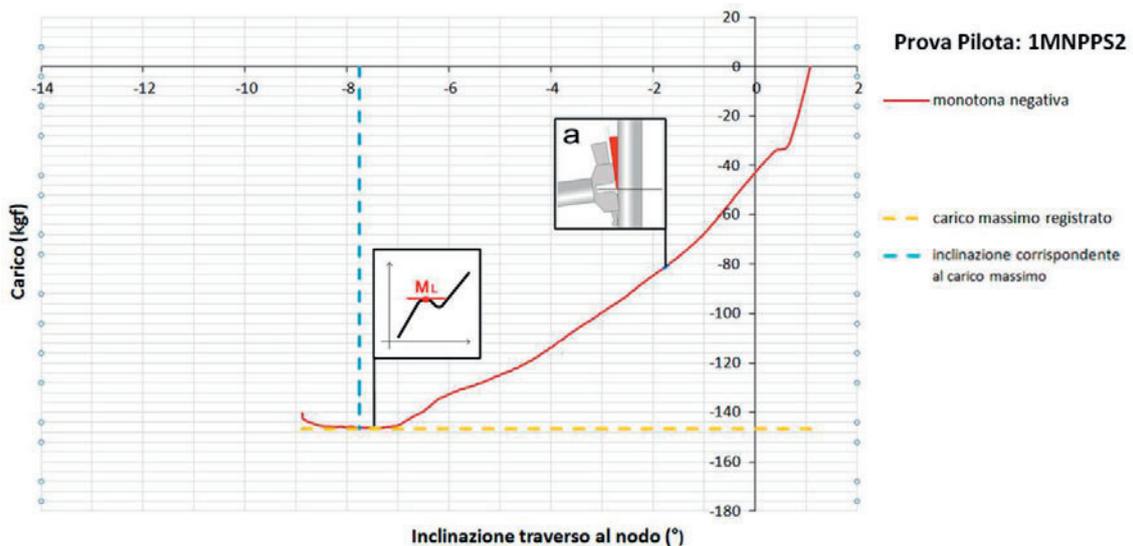


Figura 4.2.1.4-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo. Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente al verificarsi dell'evento a descritto in figura 4.1-3. Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

4.2.1.5 Prova 1MNPPS3

Velocità di spostamento imposto $v = 5 \text{ mm/min}$

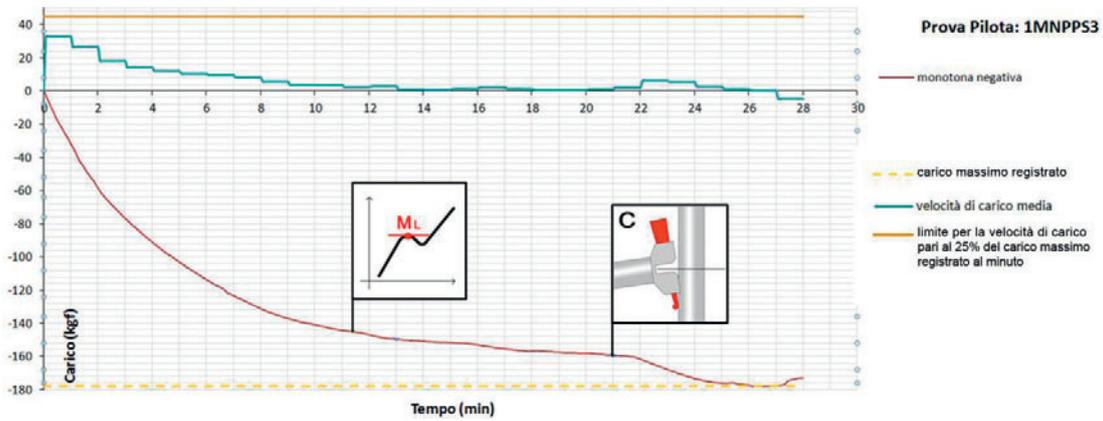


Figura 4.2.1.5-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min). Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato. Individuazione del punto C corrispondente al verificarsi dell'evento c descritto in figura 4.1-3. Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

- Massimo carico registrato: $|F_{\max}| = |-177,88| \text{kg}_f = 177,88 \text{kg}_f$
- Limite per la velocità di carico: $v_{\max} = \frac{0,25 \cdot |F_{\max}|}{\text{min}} = \frac{0,25 \cdot 177,88 \text{kg}_f}{\text{min}} = 44,47 \text{kg}_f / \text{min}$
- Massima velocità di carico durante la prova: $\max(v_c) = 32,74 \text{kg}_f / \text{min}$ nel primo minuto
- Verifica della velocità di carico: $\max(v_c) \leq v_{\max}$ positiva. *Prova valida.*

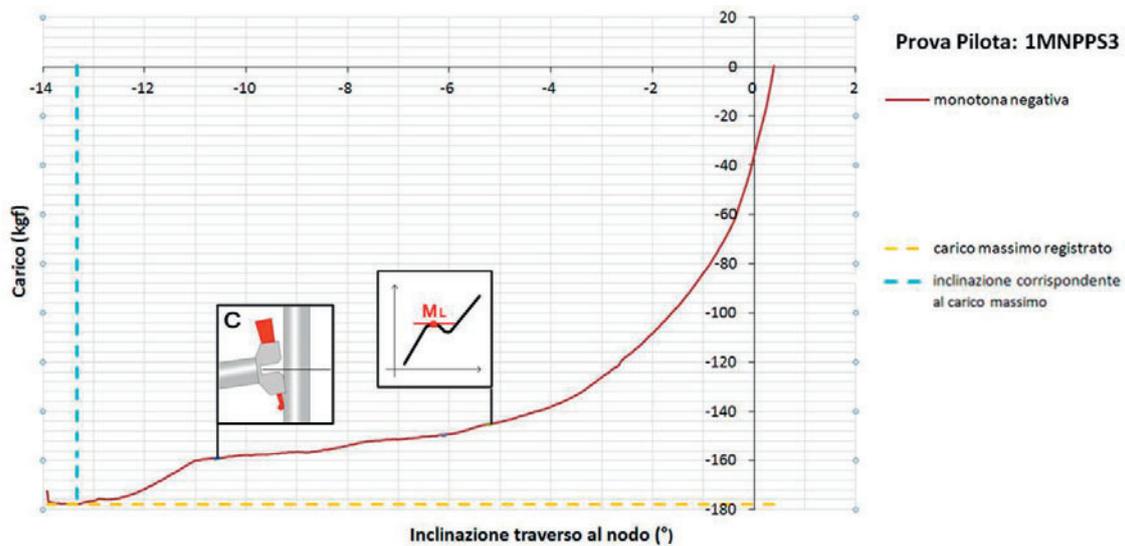


Figura 4.2.1.5-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo. Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente. Individuazione del punto C corrispondente al verificarsi dell'evento c descritto in figura 4.1-3. Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

4.2.1.6 Osservazioni sulle prove 1MNPP – dalla 1MNPPV1 alla 1MNPPS3

Dopo aver eseguito le prove appena elencate, sono stati evidenziati nei grafici gli istanti e i corrispondenti livelli di carico raggiunti al verificarsi di eventi macroscopici, rilevati ad occhio nudo, quali:

- a. Il formarsi di aria al contatto tra il montante e la forchetta del traverso nella porzione superiore;
- b. L'imbozzamento del montante al contatto con il traverso;
- c. Il contatto fra il cuneo e il montante.

Sono stati poi evidenziati i punti corrispondenti ai massimi locali (M_L) e ai massimi globali (o assoluti) delle curve di carico.

Si è osservato che:

nella prova 1MNPPV1:

- l'imbozzamento del montante avviene prima del raggiungimento del massimo livello di carico;
- il massimo livello di carico si raggiunge prima che il cuneo tocchi il montante;
- il contatto fra il cuneo e il montante non produce incremento di resistenza del sistema.

nella prova 1MNPPV2

- Il formarsi di aria al contatto tra il montante e la forchetta del traverso nella porzione superiore avviene prima del raggiungimento del massimo livello di carico;
- il massimo livello di carico si raggiunge prima che il cuneo tocchi il montante;
- il contatto fra il cuneo e il montante non produce incremento di resistenza del sistema.

nella prova 1MNPPV3

- Il formarsi di aria al contatto tra il montante e la forchetta del traverso nella porzione superiore avviene prima del raggiungimento del massimo livello di carico;
- il massimo livello di carico si raggiunge prima che il cuneo tocchi il montante;
- il contatto fra il cuneo e il montante non produce incremento di resistenza del sistema.

nella prova 1MNPPS2

- Il formarsi di aria al contatto tra il montante e la forchetta del traverso nella porzione superiore avviene prima del raggiungimento del massimo livello di carico;
- il massimo livello di carico si raggiunge prima che il cuneo tocchi il montante;
- date le risultanze delle prove precedenti si interrompe la prova al raggiungimento del massimo livello di carico, prima che si verifichi il contatto tra il cuneo e il montante.

nella prova 1MNPPS3

- nella curva carico-tempo si verificano 2 massimi;
- il contatto fra il cuneo e il montante produce incremento di resistenza del sistema;
- il massimo livello di carico si raggiunge dopo che il cuneo abbia toccato il montante
- la prova viene interrotta appena si vede che c'è un leggero decremento di carico.

In tutte le curve il primo massimo raggiunto è un massimo locale.

Oltre tale valore, il sistema oppone ancora resistenza allo spostamento.

Il contatto tra il cuneo e il montante non sempre incrementa la resistenza del sistema.

A questo livello di conoscenza si ritiene necessario effettuare le prove oltre la condizione di contatto tra il cuneo e il montante per valutare se il contributo del contatto cuneo montante sia significativo alla resistenza del sistema di collegamento.

4.2.1.7 Prova 1MNPPS4

Si veda [Cor-015].

4.2.1.8 Prova 1MNPPS5

Si veda [Cor-015].

4.2.1.9 Prova 1MNPPS6

Si veda [Cor-015].

4.2.1.10 Osservazioni sulle prove 1MNPP – dalla 1MNPPS4 alla 1MNPPS6

Le prove sono state eseguite oltre il verificarsi del contatto tra cuneo e montante.

Nei grafici, come nelle prove precedenti, sono stati evidenziati gli istanti e i corrispondenti livelli di carico raggiunti al verificarsi di eventi macroscopici, rilevati ad occhio nudo, quali:

- a. Il formarsi di aria al contatto tra il montante e la forchetta del traverso nella porzione superiore;
- b. L'imbozzamento del montante al contatto con il traverso;
- c. Il contatto fra il cuneo e il montante.

Sono stati poi evidenziati i punti corrispondenti ai massimi locali (M_l) e ai massimi globali (o assoluti) delle curve di carico.

Inoltre sono state riportate delle immagini che documentano la deformazione del sistema di collegamento durante la prova.

Si è osservato che:

nella prova 1MNPPS4:

- Il formarsi di aria al contatto tra il montante e la forchetta del traverso nella porzione superiore avviene prima dell'imbozzamento del montante;
- l'imbozzamento del montante avviene prima del raggiungimento del massimo livello di carico;
- dopo l'imbozzamento del montante si raggiunge il primo massimo della curva di carico che però è un massimo locale;

- il massimo livello di carico (massimo globale) si raggiunge prima che il cuneo tocchi il montante;
- il contatto fra il cuneo e il montante non produce incremento di resistenza del sistema.

nella prova 1MNPPS5:

- Il formarsi di aria al contatto tra il montante e la forchetta del traverso nella porzione superiore avviene prima del raggiungimento del massimo livello di carico;
- successivamente la curva di carico presenta più di un massimo locale, prima del raggiungimento del massimo assoluto;
- il massimo livello di carico si raggiunge prima che il cuneo tocchi il montante;
- il contatto fra il cuneo e il montante non produce incremento di resistenza del sistema.

nella prova 1MNPPS6:

- Il formarsi di aria al contatto tra il montante e la forchetta del traverso nella porzione superiore avviene prima del raggiungimento del massimo livello di carico;
- successivamente la curva di carico presenta un massimo locale, prima del raggiungimento del massimo assoluto
- il massimo livello di carico si raggiunge prima che il cuneo tocchi il montante;
- il contatto fra il cuneo e il montante non produce incremento di resistenza del sistema.

In tutte le curve il primo massimo raggiunto è un massimo locale.

Oltre tale valore, il sistema oppone ancora resistenza allo spostamento.

Il contatto tra il cuneo e il montante non incrementa la resistenza del sistema.

4.2.2 Prove 1MPPP

Le prove 1MPPP sono prove pilota monotone nel verso positivo dello spostamento (spostamento della traversa verso l'alto).

Sono state eseguite sottoponendo il dispositivo di collegamento alle azioni riportate nello schema seguente, avendo imposto alla traversa della macchina a contatto con il traverso, uno spostamento verso l'alto (positivo).

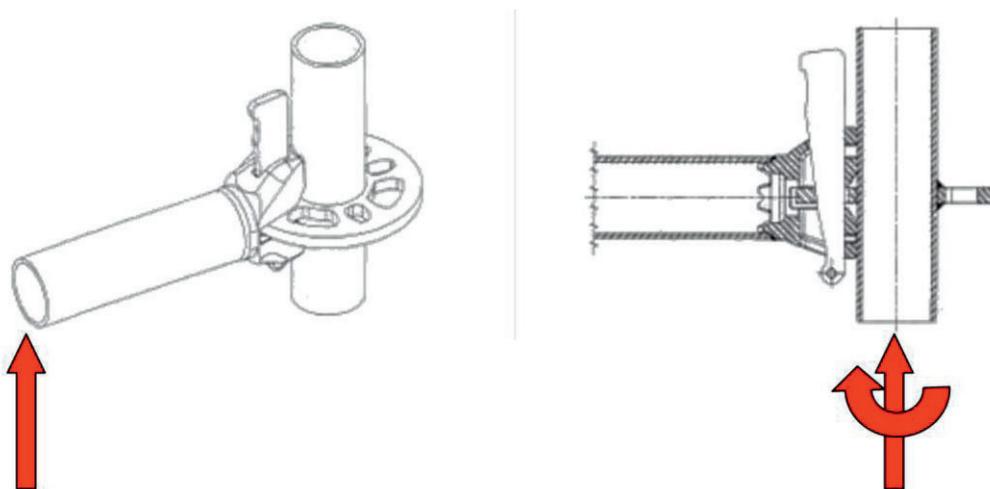


Figura 4.2.2-1 Schema di applicazione dello spostamento e azioni al nodo

La velocità di spostamento di primo tentativo è stata imposta inizialmente pari a $v=10$ mm/min, ed è stato registrato il carico massimo per ogni prova. A prova terminata è stato verificato se la velocità di carico statico (conseguente allo spostamento imposto) risultasse minore del 25% del carico massimo, registrato per la prova appena eseguita, al minuto.

Anche se la verifica per la velocità di carico è risultata positiva per la prova effettuata alla velocità di spostamento di 10 mm/min (Prova 1MPPPV1), si è scelto di imporre la velocità pari a 5 mm/min come per le prove con spostamento negativo.

Tale velocità di spostamento ha soddisfatto ovviamente la suddetta verifica sulla velocità di carico ed è stata quindi imposta per le ulteriori prove pilota positive.

4.2.2.1 Prova 1MPPPV1

Velocità di spostamento imposto $v = 10 \text{ mm/min}$

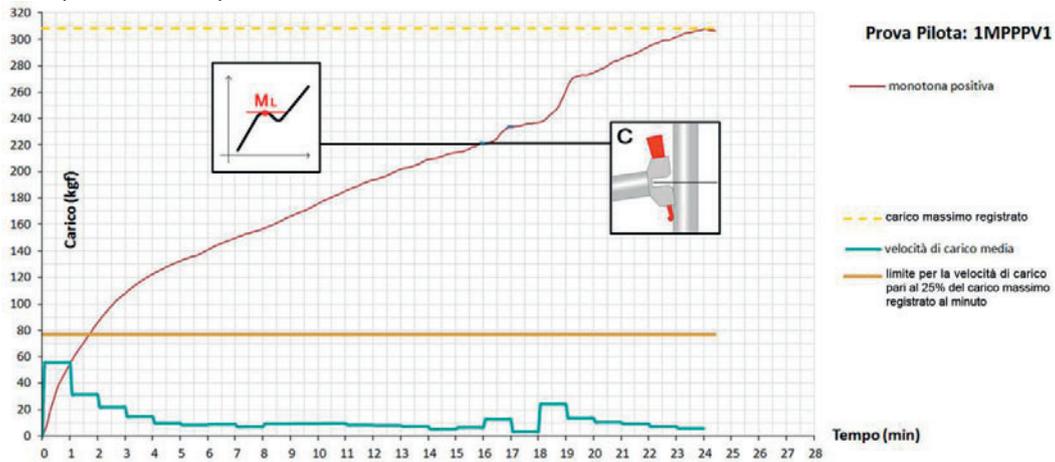


Figura 4.2.2.1-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min). Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato. Individuazione del punto C corrispondente al verificarsi dell'evento c descritto in figura 4.1-4. Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

- Massimo carico registrato: $|F_{\max}| = | +307,93 | \text{kg}_f = 307,93 \text{kg}_f$
- Limite per la velocità di carico: $v_{\max} = \frac{0.25 \cdot |F_{\max}|}{\text{min}} = 0.25 \cdot 307,93 \text{kg}_f / \text{min} = 76,98 \text{kg}_f / \text{min}$
- Massima velocità di carico durante la prova: $\max(v_c) = 55,30 \text{kg}_f / \text{min}$ nel primo minuto
- Verifica della velocità di carico: $\max(v_c) \leq v_{\max}$ positiva. *Prova valida*. Si sceglie comunque di diminuire la velocità di spostamento ponendo $v = 5 \text{ mm/min}$ come per le prove con spostamento negativo.

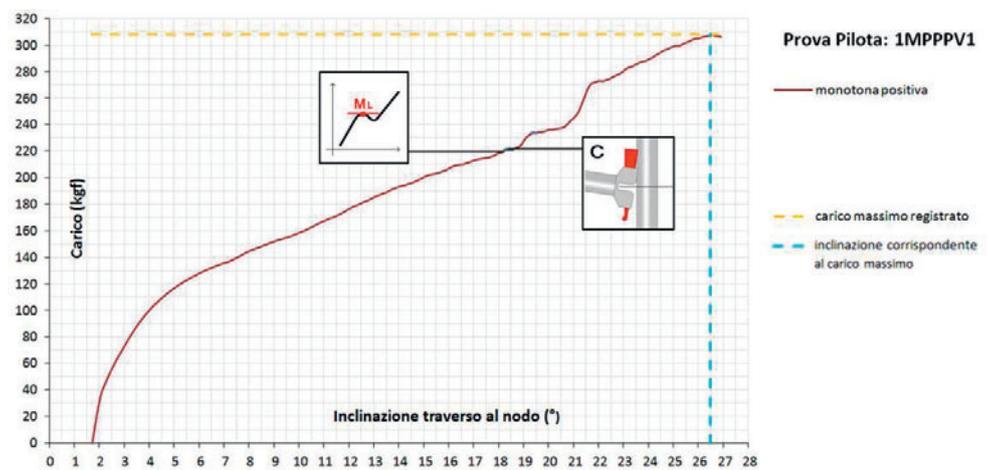


Figura 4.2.2.1-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo. Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente. Individuazione del punto C corrispondente al verificarsi dell'evento c descritto in figura 4.1-4. Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.



Figura 4.2.2.1-3: Fine prova
Deformazione permanente del montante al contatto con la forchetta – dettaglio 1



Figura 4.2.2.1-4: Fine prova
Deformazione permanente del montante al contatto con la forchetta – dettaglio 2

4.2.2.2 Prova 1MPPPV2 = 1MPPPS1

Velocità di spostamento imposto $v = 5 \text{ mm/min}$

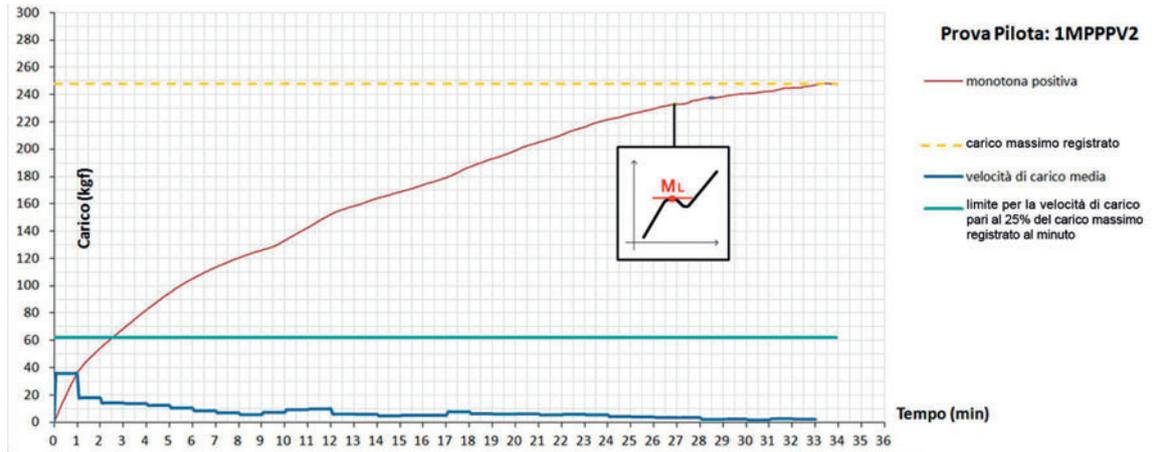


Figura 4.2.2.2-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min). Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato. Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

- Massimo carico registrato: $|F_{\max}| = | + 248,1 | = 248,1 \text{ kg}_f$
- Limite per la velocità di carico: $v_{\max} = \frac{0,25 \cdot |F_{\max}|}{\text{min}} = \frac{0,25 \cdot 248,1 \text{ kg}_f}{\text{min}} = 62,03 \text{ kg}_f / \text{min}$
- Massima velocità di carico durante la prova: $\max(v_c) = 35,78 \text{ kg}_f / \text{min}$ nel primo minuto
- Verifica della velocità di carico: $\max(v_c) \leq v_{\max}$ positiva. Prova valida. *Non ha toccato il cuneo*

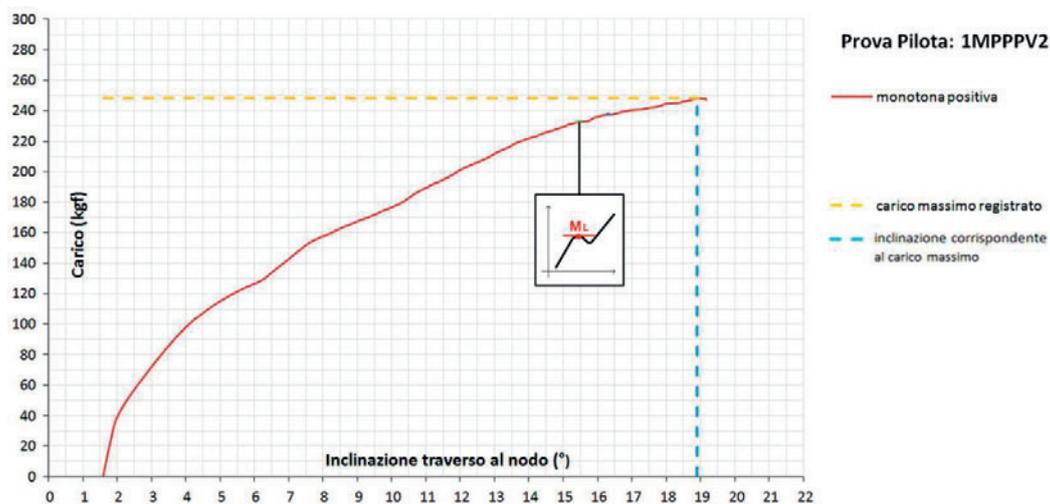


Figura 4.2.2.2-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo. Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente. Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

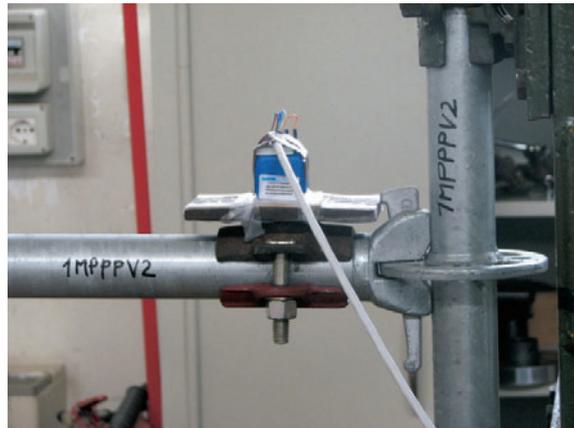


Figura 4.2.2.2-3: Inizio prova

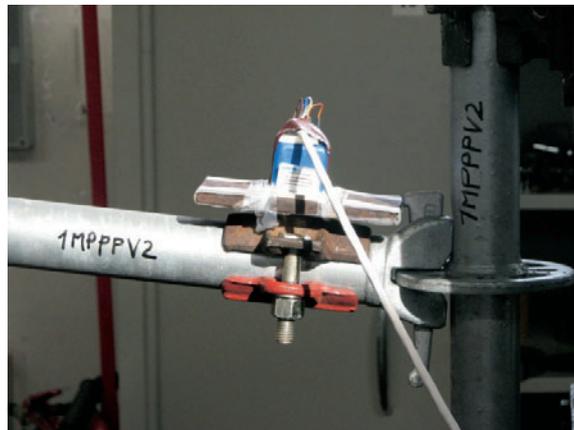


Figura 4.2.2.2-4: Deformazione al 17° minuto

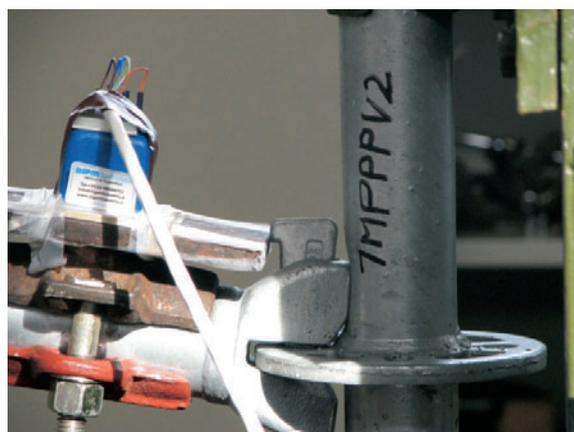


Figura 4.2.2.2-5: Deformazione al 25° minuto

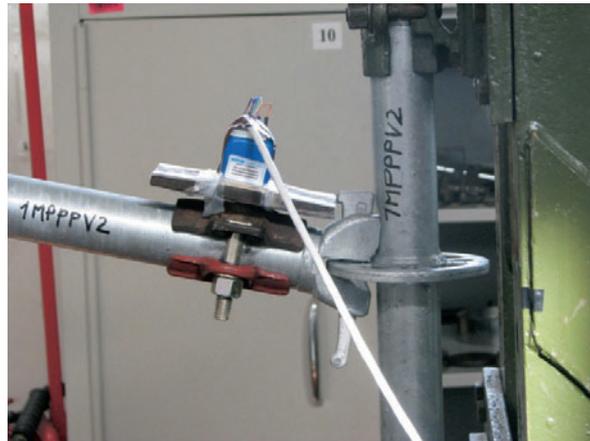


Figura 4.2.2.2-6: Fine prova



Figura 4.2.2.2-7: Fine prova - Deformazione permanente del montante al contatto con la forchetta



Figura 4.2.2.2-8: Fine prova - cuneo

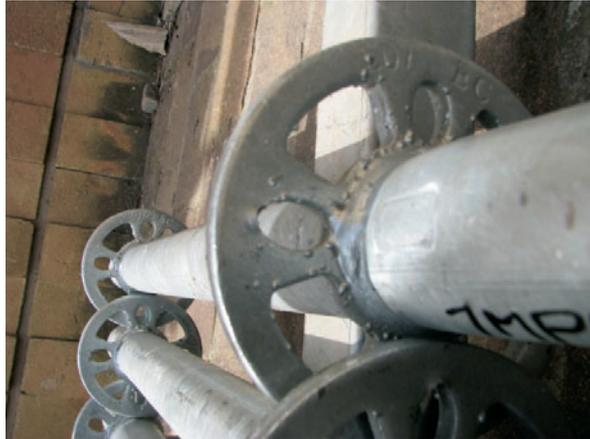


Figura 4.2.2.2-9: Fine prova - Deformazione permanente (ovalizzazione) del foro della rosetta

4.2.2.3 Prova 1MPPPS2

Velocità di spostamento imposto $v = 5 \text{ mm/min}$

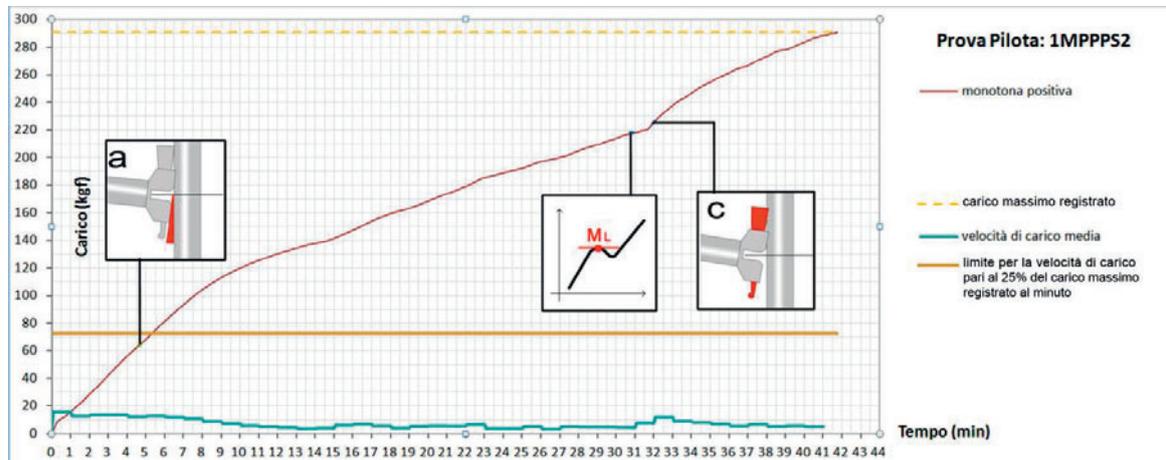


Figura 4.2.2.3-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min). Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato. Individuazione dei punti A e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a e c descritti in figura 4.1-4. Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

- Massimo carico registrato: $|F_{\max}| = |291,05| = 291,05 \text{kg}_f$
- Limite per la velocità di carico: $v_{\max} = \frac{0,25 \cdot |F_{\max}|}{\text{min}} = 0,25 \cdot 291,05 \text{kg}_f / \text{min} = 72,76 \text{kg}_f / \text{min}$
- Massima velocità di carico durante la prova: $\max(v_c) = 15,85 \text{kg}_f / \text{min}$ nel primo minuto
- Verifica della velocità di carico: $\max(v_c) \leq v_{\max}$ positiva. *Prova valida.*

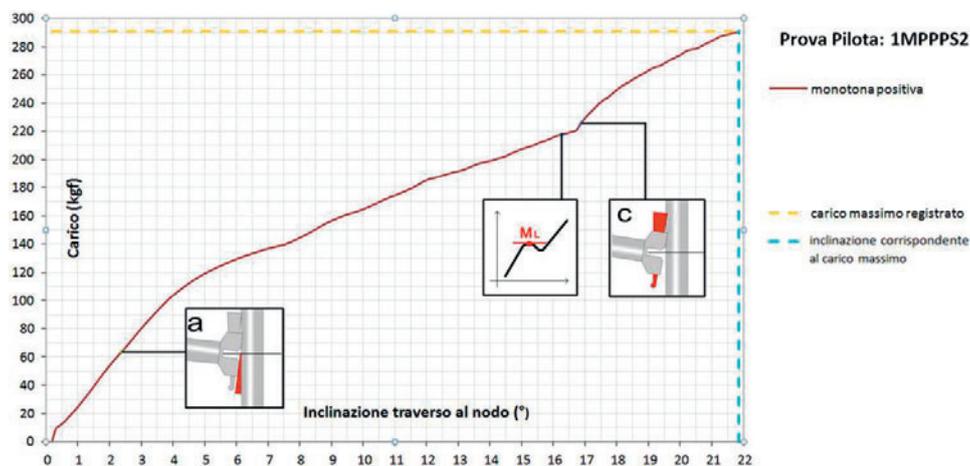


Figura 4.2.2.3-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo. Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente. Individuazione dei punti A e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a e c descritti in figura 4.1-4. Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.



Figura 4.2.2.3-3: Inizio prova



Figura 4.2.2.3-4: Fine prova



Figura 4.2.2.3-5: Fine prova – dettaglio



Figura 4.2.2.3-6: Fine prova - Deformazione permanente del montante al contatto con la forchetta dettaglio 1



Figura 4.2.2.3-7: Fine prova - Deformazione permanente del montante al contatto con la forchetta dettaglio 2



Figura 4.2.2.3-8: Fine prova - Deformazione permanente (ovalizzazione) del foro della rosetta

4.2.2.4 Prova 1MPPPS3

Velocità di spostamento imposto $v = 5 \text{ mm/min}$

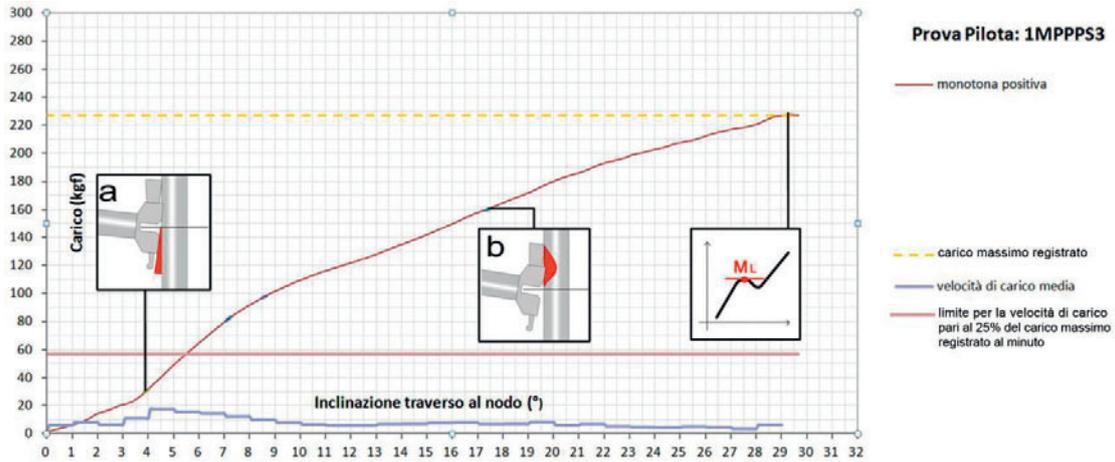


Figura 4.2.2.4-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min). Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato. Individuazione dei punti A e B corrispondenti al verificarsi degli eventi a e b descritti in figura 4.1-4. Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

- Massimo carico registrato: $|F_{\max}| = |+227,23| = 227,23 \text{kg}_f$
- Limite per la velocità di carico: $v_{\max} = \frac{0.25 \cdot |F_{\max}|}{\text{min}} = 0.25 \cdot 227,23 \text{kg}_f / \text{min} = 56,81 \text{kg}_f / \text{min}$
- Massima velocità di carico durante la prova: $\max(v_c) = 17,65 \text{kg}_f / \text{min}$ nel quinto minuto
- Verifica della velocità di carico: $\max(v_c) \leq v_{\max}$ positiva. *Prova valida.*

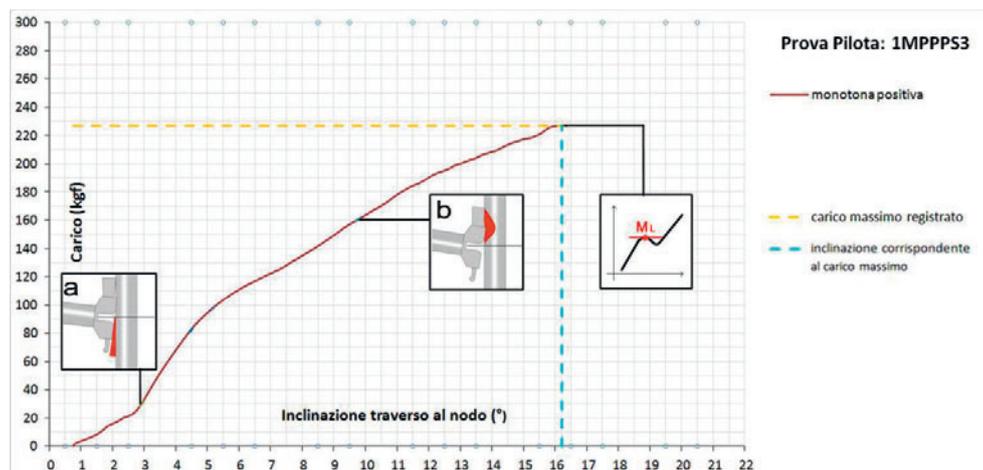


Figura 4.2.2.4-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo. Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente. Individuazione dei punti A e B corrispondenti al verificarsi degli eventi a e b descritti in figura 4.1-4. Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

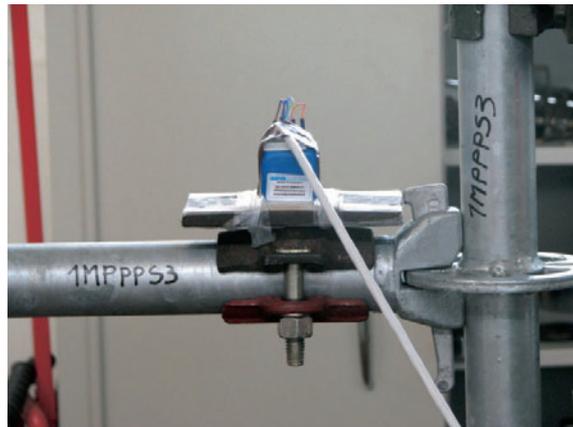


Figura 4.2.2.4-3: Inizio prova



Figura 4.2.2.4-4: Formarsi di aria al contatto tra il montante e la forchetta del traverso (evento a)



Figura 4.2.2.4-5: Evidente imbozzamento del montante



Figura 4.2.2.4-6: Fine prova



Figura 4.2.2.4-7: Fine prova - dettaglio 1



Figura 4.2.2.4-8: Fine prova dopo la rimozione dell'attrezzatura di prova



Figura 4.2.2.4-9: Fine prova - Deformazione permanente (ovalizzazione) del foro della rosetta



Figura 4.2.2.4-10: Fine prova - Deformazione permanente del montante al contatto con la forchetta

4.2.2.5 Osservazioni sulle prove 1MPPP – dalla 1MPPPV1 alla 1MPPPS3

Dopo aver eseguito le prove appena elencate, sono stati evidenziati nei grafici gli istanti e i corrispondenti livelli di carico raggiunti al verificarsi di eventi macroscopici, rilevati ad occhio nudo, quali:

- a. Il formarsi di aria al contatto tra il montante e la forchetta del traverso nella porzione superiore;
- b. L'imbozzamento del montante al contatto con il traverso;
- c. Il contatto fra il cuneo e il montante.

Sono stati poi evidenziati i punti corrispondenti ai massimi locali (M_L) e ai massimi globali (o assoluti) delle curve di carico.

Si è osservato che:

nella prova 1MPPPV1:

- le curve carico-tempo e carico-inclinazione sono crescenti fino al verificarsi del contatto tra cuneo e montante (evento c);
- tale evento coincide con il verificarsi del primo massimo locale nelle curve carico-tempo e carico-inclinazione;
- il contatto fra il cuneo e il montante produce incremento di resistenza del sistema;
- dopo il verificarsi del contatto del cuneo, le curve presentano diversi massimi locali;
- successivamente la velocità di carico media risulta decrescente in un periodo di osservazione pari a 5 min;
- la prova viene interrotta al verificarsi del primo massimo locale successivo.

nella prova 1MPPPV2

- le curve carico-tempo e carico-inclinazione sono crescenti fino al raggiungimento di un primo massimo ($F=233 \text{ kg}$; $\varphi_{\text{corr}} = 15,48^\circ$);
- successivamente le curve presentano diversi massimi locali con decremento della velocità di carico media;
- la prova viene interrotta prima del verificarsi del contatto del cuneo.

nella prova 1MPPPS2

- viene rilevato l'evento a (formarsi di aria al contatto fra la forchetta e il montante nella porzione inferiore) che si verifica in un tratto lineare delle curve carico-tempo e carico-inclinazione;
- le curve carico-tempo e carico-inclinazione sono crescenti fino al raggiungimento di un primo massimo ($F=218 \text{ kg}$; $\varphi_{\text{corr}} = 16,27^\circ$);
- successivamente si verifica il contatto tra cuneo e montante (evento c);
- il contatto fra il cuneo e il montante produce incremento di resistenza del sistema;
- dopo il verificarsi del contatto del cuneo, le curve presentano diversi massimi locali;
- successivamente la velocità di carico media risulta decrescente in un periodo di osservazione pari a 4 min;
- la prova viene interrotta al verificarsi del primo massimo locale successivo.

nella prova 1MPPPS3

- viene rilevato l'evento a (formarsi di aria al contatto fra la forchetta e il montante nella porzione

- inferiore) che si verifica al termine di un tratto lineare delle curve carico-tempo e carico-inclinazione;
- viene rilevato l'evento b (imbozzamento del montante al contatto del traverso) che si verifica in un tratto non lineare delle curve carico-tempo e carico-inclinazione;
 - le curve carico-tempo e carico-inclinazione sono crescenti fino al raggiungimento del primo massimo ($F=227,23 \text{ kg}$; $\varphi_{\text{corr}} = 16,18^\circ$);
 - la prova viene interrotta al verificarsi del primo massimo.

Le prove 1MPPPV2 e 1MPPPS3 sono state interrotte prima del verificarsi del contatto del cuneo.

Le prove 1MPPPV1 e 1MPPPS2 sono state interrotte dopo il verificarsi del contatto del cuneo.

Successivamente, in queste prove, il sistema oppone ancora resistenza allo spostamento.

Nelle curve non è facilmente individuabile una condizione di picco del carico oltre il quale la resistenza decresce definitivamente.

A questo livello di conoscenza si sceglie di effettuare le prove oltre la condizione di contatto tra il cuneo e il montante per valutare per quale valore del carico le curve presentino un massimo assoluto prima di decrescere definitivamente.

4.2.2.6 Prova 1MPPPS4

Si veda [Cor-015].

4.2.2.7 Prova 1MPPPS5

Si veda [Cor-015].

4.2.2.8 Prova 1MPPPS6

Si veda [Cor-015].

4.2.2.9 Prova 1MPPPS7

Si veda [Cor-015].

4.2.2.10 Prova 1MPPPS8

Si veda [Cor-015].

4.2.2.11 Osservazioni sulle prove 1MPPP - dalla 1MPPPS4 alla 1MPPPS8

Le prove sono state eseguite oltre il verificarsi del contatto tra cuneo e montante.

Nei grafici, come nelle prove precedenti, sono stati evidenziati gli istanti e i corrispondenti livelli di carico raggiunti al verificarsi di eventi macroscopici, rilevati ad occhio nudo, quali:

- a. Il formarsi di aria al contatto tra il montante e la forchetta del traverso nella porzione superiore;
- b. L'imbozzamento del montante al contatto con il traverso;
- c. Il contatto fra il cuneo e il montante.

Sono stati poi evidenziati i punti corrispondenti ai massimi locali (M_L) e ai massimi globali (o assoluti) delle curve di carico.

Inoltre sono state riportate delle immagini che documentano la deformazione del sistema di collegamento durante la prova.

Si è osservato che:

nella prova 1MPPPS4:

- le curve carico-tempo e carico-inclinazione sono crescenti fino alla formazione di aria fra la forchetta e il montante nella porzione inferiore (evento a);
- tale evento coincide con il verificarsi del primo massimo locale ($F = 84,40\text{kg}_p$; $\varphi_{\text{corr}} = 1,22^\circ$); nelle curve carico-tempo e carico-inclinazione;
- successivamente le curve presentano diversi massimi locali con decremento della velocità di carico media fino al verificarsi dell'evento b;
- oltre tale evento la velocità di carico media aumenta leggermente e successivamente diminuisce fino al verificarsi dell'evento c;
- il contatto fra il cuneo e il montante produce incremento di resistenza del sistema;
- dopo il verificarsi del contatto del cuneo, le curve presentano diversi massimi locali;
- successivamente la velocità di carico media risulta decrescente fino a stabilizzarsi intorno ad un valore prossimo allo zero ($v_c = 2 \text{ kg}_f/\text{min}$).
- la prova viene interrotta per il raggiungimento di un limite geometrico imposto dalla macchina di prova (inclinazione del traverso pari a $\varphi = 35,26^\circ$).

nella prova 1MPPPS5:

- viene rilevato l'evento a (formarsi di aria al contatto fra la forchetta e il montante nella porzione inferiore) che si verifica al termine di un tratto lineare delle curve carico-tempo e carico-inclinazione;
- successivamente le curve carico-tempo e carico-inclinazione sono crescenti con notevole decremento iniziale della pendenza e successivo incremento e ulteriore decremento, fino al verificarsi dell'evento b;
- successivamente si ha un ulteriore decremento della velocità di carico media fino al raggiungimento di un primo massimo ($F = 235,46\text{kg}_p$; $\varphi_{\text{corr}} = 17,35^\circ$);
- successivamente le curve presentano diversi massimi locali fino al verificarsi dell'evento c;
- il contatto fra il cuneo e il montante produce incremento di resistenza del sistema;
- la prova viene interrotta al verificarsi del decremento di velocità di carico media per due minuti.

nella prova 1MPPPS6:

- viene rilevato l'evento a (formarsi di aria al contatto fra la forchetta e il montante nella porzione

inferiore) che si verifica al termine di un tratto lineare delle curve carico-tempo e carico-inclinazione;

- successivamente le curve carico-tempo e carico-inclinazione sono crescenti con decremento della pendenza (diminuzione della velocità di carico), fino al raggiungimento di un primo massimo locale ($F = 182,60\text{kg}_p$; $\varphi_{\text{corr}} = 11,17^\circ$);
- successivamente le curve risultano crescenti con velocità di carico media decrescente fino al verificarsi dell'evento c;
- il contatto fra il cuneo e il montante produce incremento di resistenza del sistema con incremento di velocità di carico;
- dopo il verificarsi del contatto del cuneo, le curve risultano crescenti con pendenza decrescente fino a presentare molti massimi locali;
- la prova viene interrotta al verificarsi del massimo globale ($F = 475,64\text{kg}_p$; $\varphi_{\text{corr}} = 42,70^\circ$). Oltre tale valore il carico diminuisce definitivamente.

nella prova 1MPPPS7:

- viene rilevato l'evento a (formarsi di aria al contatto fra la forchetta e il montante nella porzione inferiore) che si verifica al termine di un tratto lineare delle curve carico-tempo e carico-inclinazione;
- successivamente le curve carico-tempo e carico-inclinazione sono crescenti con decremento della pendenza (diminuzione della velocità di carico), fino al raggiungimento di un primo massimo locale ($F = 107,35\text{kg}_p$; $\varphi_{\text{corr}} = 3,26^\circ$);
- successivamente le curve presentano molti massimi relativi con graduale decremento della velocità di carico media fino al verificarsi dell'evento b;
- successivamente le curve risultano mediamente crescenti con velocità di carico media decrescente fino al raggiungimento dell'evento c;
- il contatto fra il cuneo e il montante produce incremento di resistenza del sistema con incremento di velocità di carico;
- dopo il verificarsi del contatto del cuneo, le curve risultano crescenti con pendenza decrescente fino a presentare molti massimi locali;
- la prova viene interrotta al verificarsi del massimo globale ($F = 426\text{kg}_p$; $\varphi_{\text{corr}} = 45,66^\circ$) (oltre tale valore il carico diminuisce definitivamente).

nella prova 1MPPPS8:

- viene rilevato l'evento a (formarsi di aria al contatto fra la forchetta e il montante nella porzione inferiore) che si verifica al termine di un tratto lineare delle curve carico-tempo e carico-inclinazione;
- non sono stati rilevati gli istanti ai quali si verificano gli eventi b e c;
- l'andamento delle curve è analogo a quelle della prova 1MPPPS6;
- il verificarsi del primo massimo si ha per ($F = 194,64\text{kg}_p$; $\varphi_{\text{corr}} = 13,02^\circ$);
- dopo il verificarsi del contatto del cuneo, le curve risultano crescenti con pendenza decrescente fino a presentare molti massimi locali;
- la prova viene interrotta al verificarsi del massimo globale ($F = 405,21\text{kg}_p$; $\varphi_{\text{corr}} = 42,57^\circ$) (oltre tale valore il carico diminuisce definitivamente).

Per tutte le prove le curve presentano un tratto quasi lineare che termina con il verificarsi dell'evento a.

Successivamente le curve risultano crescenti con velocità di carico media decrescente fino a valori prossimi allo zero.

Il verificarsi del primo massimo delle curve è variabile fra gli eventi a e b o fra b e c.

Tutte le prove sono state eseguite oltre il contatto del cuneo sul montante.
Tale evento incrementa la resistenza del sistema.

Oltre tale evento la resistenza aumenta con basse velocità di carico.

Si raggiunge un massimo globale delle curve per grandi rotazioni del sistema.

A questo livello di conoscenza si sceglie di effettuare ulteriori prove pilota di tipo ciclico per individuare le fasi elastiche e plastiche del comportamento strutturale del sistema.

4.2.3 Prova 2CNPP1

La prova 2CNPP1 è una prova pilota ciclica con carichi ripetuti a diversi livelli di carico, ma senza inversione di segno.

È stata eseguita imponendo alla traversa della macchina uno spostamento verso il basso (fase di carico) e uno spostamento verso l'alto (fase di scarico) con velocità pari a $v = 5$ mm/min.

Sono stati eseguiti:

- 3 cicli di carico $[0;(-30)]\text{kg}_p$;
- 3 cicli di carico $[0;(-70)]\text{kg}_p$;
- carico monotono fino al raggiungimento di un valore massimo del carico.

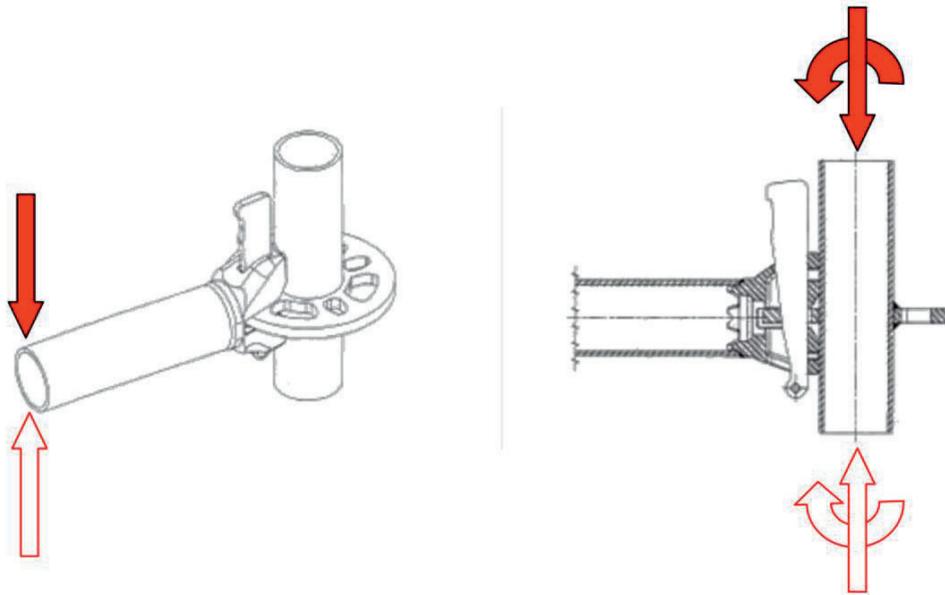


Figura 4.2.3-1 Schema di applicazione dello spostamento e azioni al nodo

Si riportano di seguito le curve carico-tempo e carico-inclinazione.

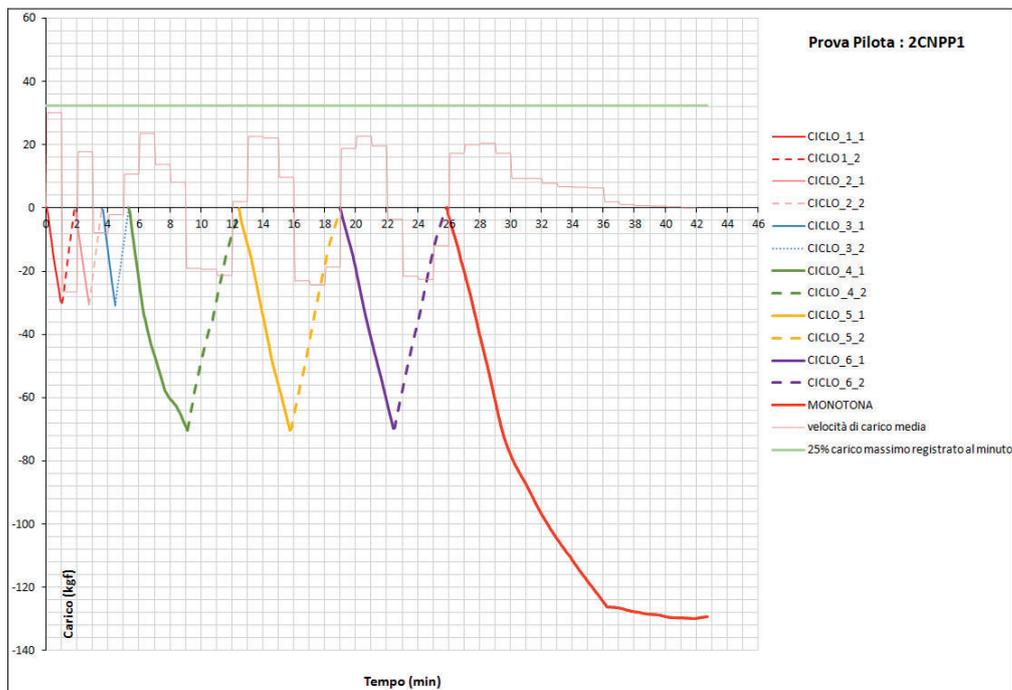


Figura 4.2.3-2 Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg/min). Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato.

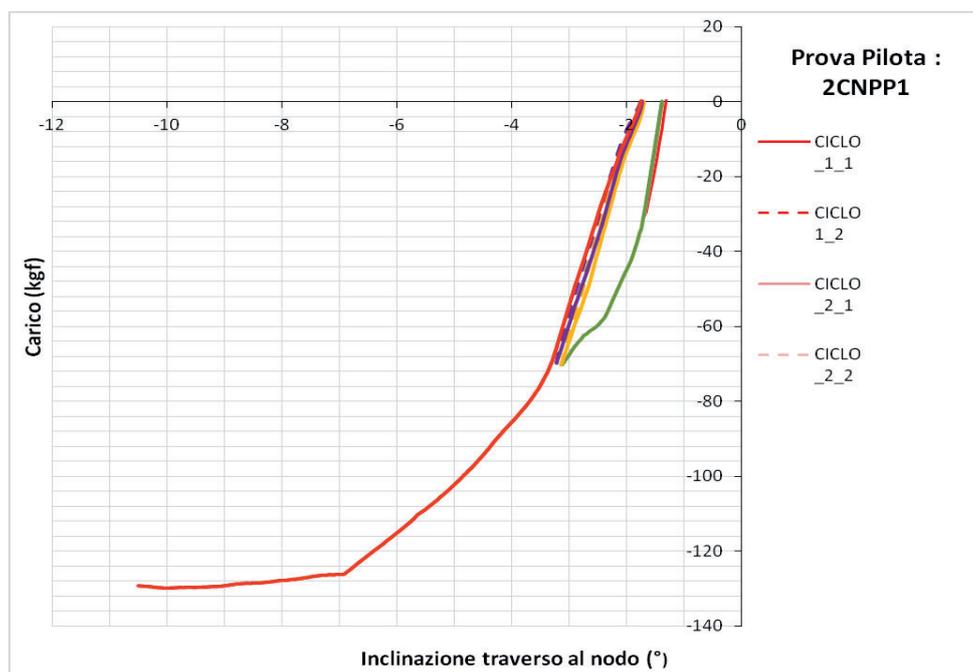


Figura 4.2.3-3 Curva carico-inclinazione trasverso al nodo

4.2.3.1 Osservazioni sulla prova 2CNPP1

Si può osservare un comportamento elastico (piccole deformazioni residue allo scarico) nel range di carico $[0;(-30)]\text{kg}_f$ e nel range di carico $[0;(-70)]\text{kg}_f$ con assestamento del sistema (gioco) fra i due livelli di carico.

Il massimo carico considerato $F = 129,88\text{kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = 10,01^\circ$; si verifica con una velocità di carico media pari a $0,12 \text{ kg}_f/\text{min}$ per 5 min

4.2.4 Prova 2CPPP1

La prova 2CPPP1 è una prova pilota ciclica con carichi ripetuti a diversi livelli di carico, ma senza inversione di segno.

È stata eseguita imponendo alla traversa della macchina, uno spostamento verso l'alto (fase di carico) e uno spostamento verso il basso (fase di scarico) con velocità pari a $v = 5 \text{ mm}/\text{min}$.

Sono stati eseguiti:

- 3 cicli di carico $[0;(+40)]\text{kg}_f$;
- 3 cicli di carico $[0;(+80)]\text{kg}_f$;
- carico monotono fino al raggiungimento di un valore massimo del carico oltre il contatto cuneo - montante (evento b).

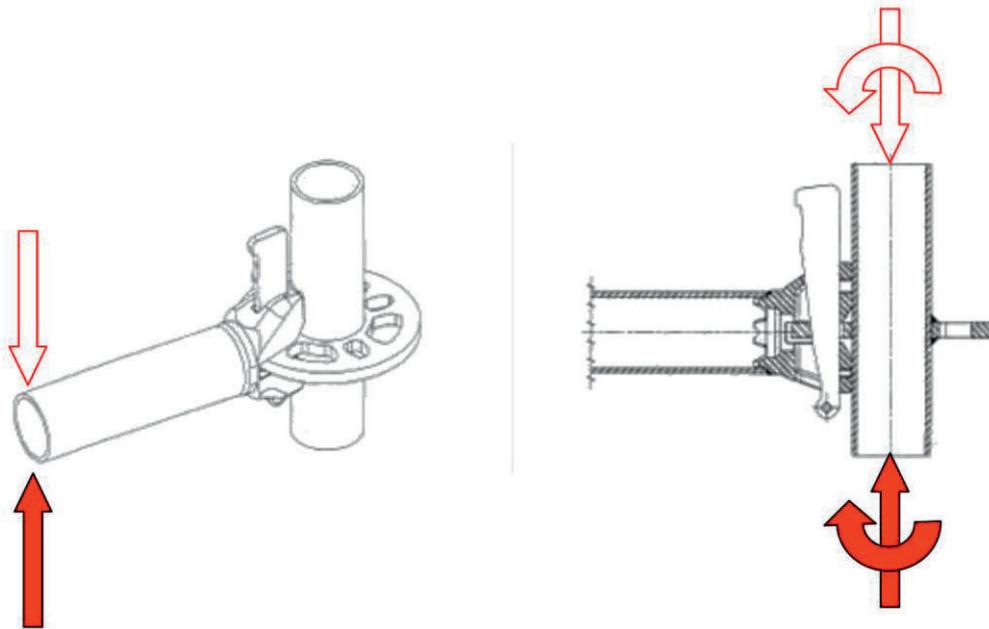


Figura 4.2.4-1 Schema di applicazione dello spostamento e azioni al nodo

Si riportano di seguito le curve carico-tempo e carico-inclinazione.

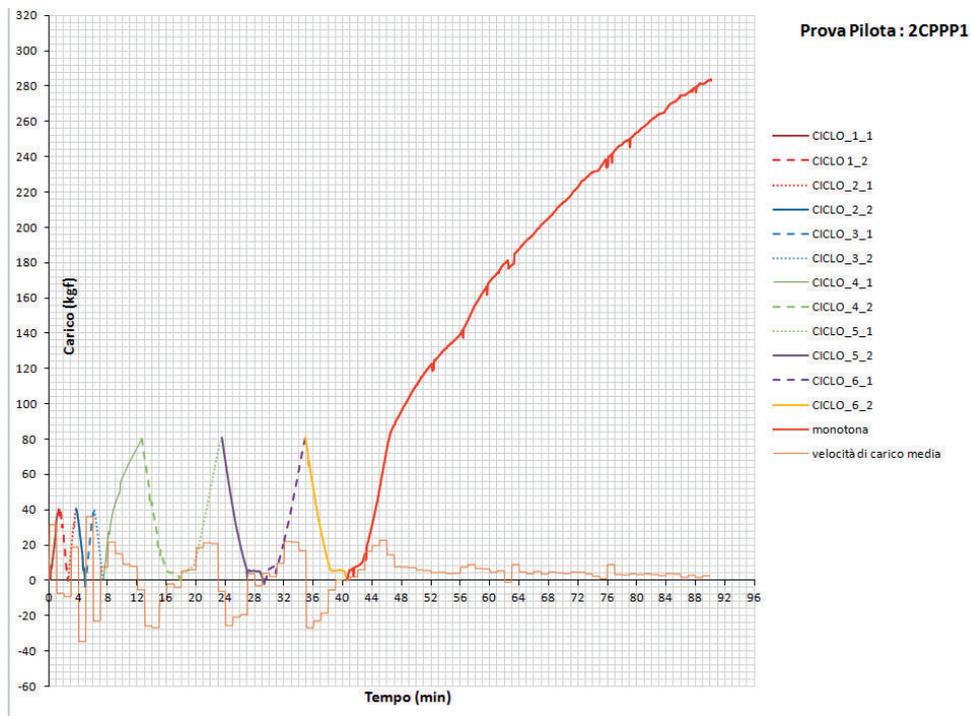


Figura 4.2.4-2 Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min).

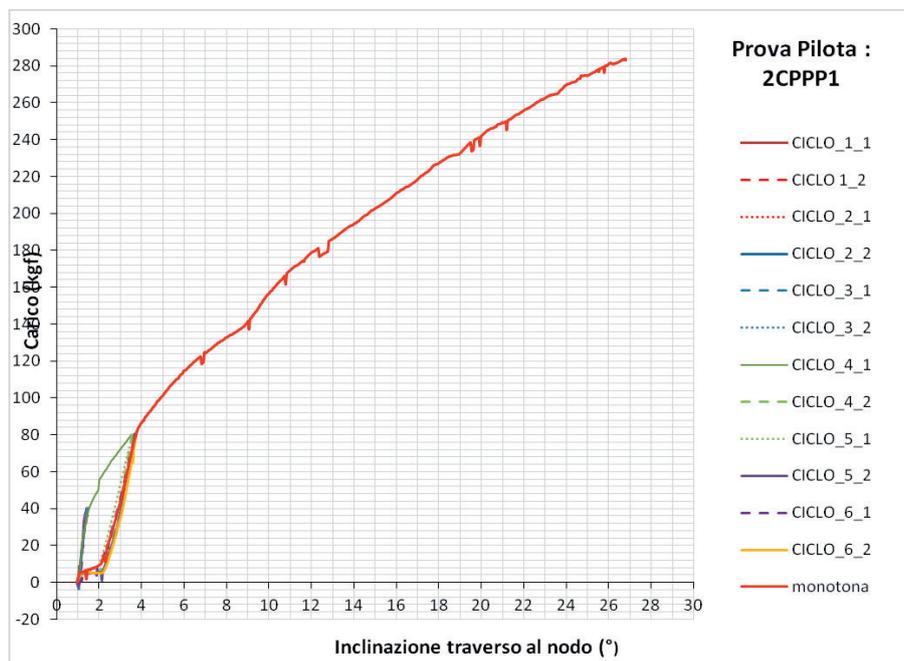


Figura 4.2.4-3 Curva carico-inclinazione trasverso al nodo

4.2.4.1 Osservazioni sulla prova 2CPPP1

Si può osservare un comportamento elastico (piccole deformazioni residue allo scarico) nel range di carico $[0;(+40)]\text{kg}_f$ e nel range di carico $[0;(+80)]\text{kg}_f$ con assestamento del sistema (gioco) fra i due livelli di carico.

Il massimo carico considerato $F = 284,13\text{kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = 26,78^\circ$ si verifica con una velocità di carico media pari a circa $2 \text{ kg}_f/\text{min}$.

4.2.5 Prova 3CNPP1

La prova 3CNPP1 è una prova pilota ciclica con carichi ripetuti a diversi livelli di carico, ma senza inversione di segno. Partendo da 3 cicli nel range di carico $[0;(-20)]\text{kg}_f$ sono stati eseguiti 3 cicli per ogni livello di carico con un incremento di -10 kg_f fino a -70 kg_f .

Successivamente è stato eseguito n°1 ciclo per ogni incremento del carico di -10 kg_f fino a raggiungere un massimo globale.

La prova è stata eseguita imponendo alla traversa della macchina uno spostamento verso il basso (fase di carico) e uno spostamento verso l'alto (fase di scarico) con velocità pari a $v = 5 \text{ mm}/\text{min}$.

Si riportano di seguito le curve carico-tempo e carico-inclinazione.

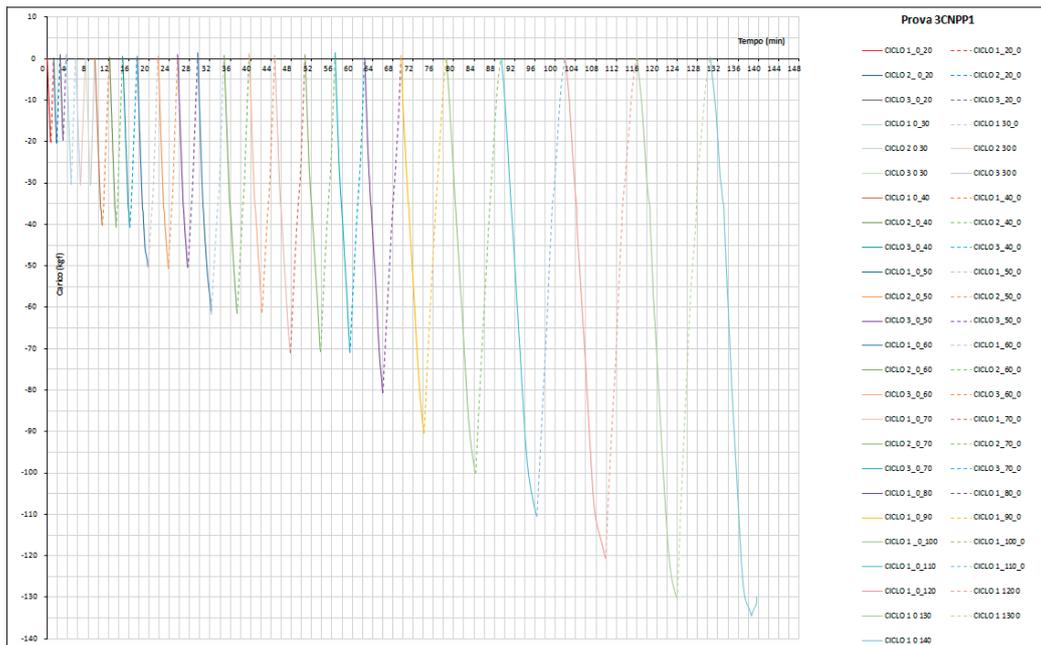


Figura 4.2.5-1 Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min).

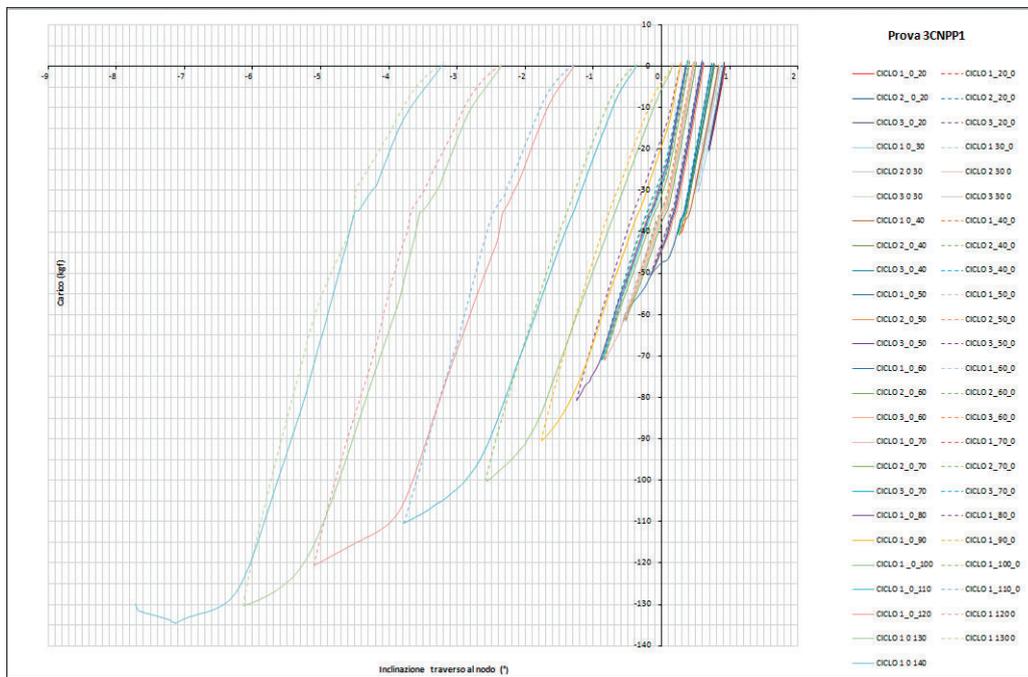


Figura 4.2.5-2 Curva carico-inclinazione trasverso al nodo

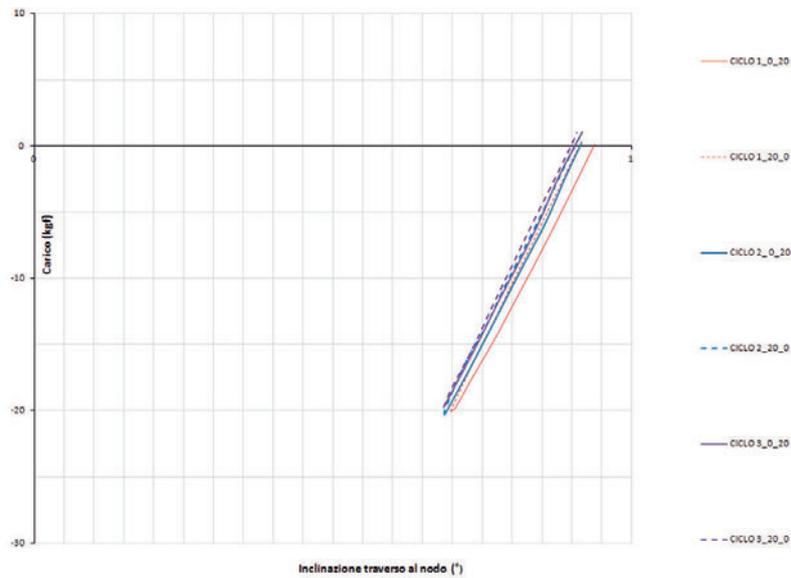


Figura 4.2.5-3 Curva parziale carico-inclinazione traverso al nodo

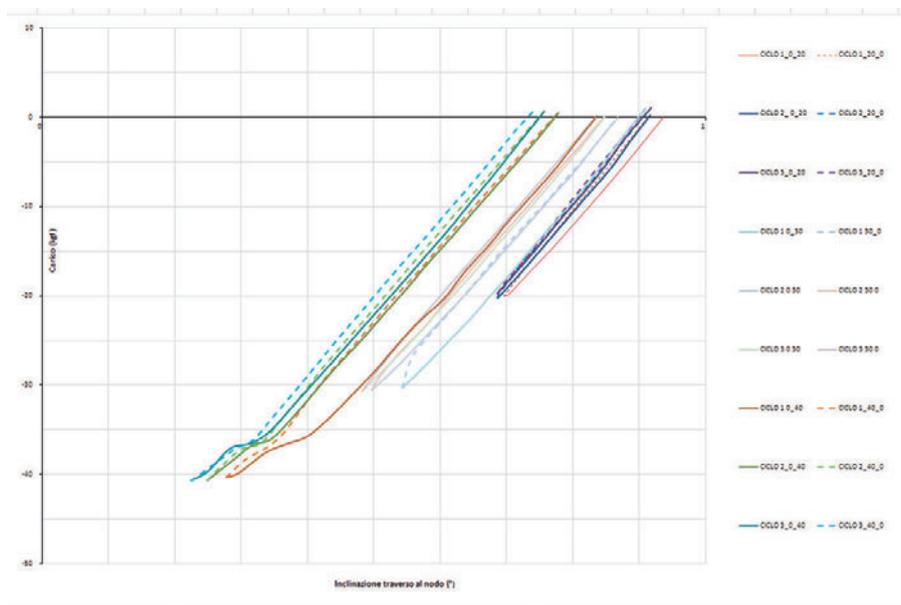


Figura 4.2.5-4 Curva parziale carico-inclinazione traverso al nodo

4.2.5.1 Osservazioni sulla prova 3CNPP1

Si può osservare un comportamento elastico (piccole deformazioni residue allo scarico) nel range di carico $[0;(-20)]\text{kg}_p$, nel range di carico $[0;(-30)]\text{kg}_e$ e nel range di carico $[0;(-40)]\text{kg}_f$ con assestamento del sistema (gioco) al passaggio da un livello di carico ad un altro.

Ai livelli di carico superiori sono evidenti deformazioni residue allo scarico che si amplificano all'aumentare del livello di carico.

Il massimo carico considerato risulta $F = 134,44\text{kg}_p$; $\varphi_{\text{corr}} = -7,12^\circ$.

4.2.6 Prova 3CPPI1

La prova 3CPPI1 è una prova pilota ciclica con carichi ripetuti a diversi livelli di carico, ma senza inversione di segno. Partendo da 3 cicli nel range di carico $[0;(+20)]\text{kg}_p$ sono stati eseguiti 3 cicli per ogni livello di carico con un incremento di 10 kg_f fino a 80 kg .

Successivamente è stato eseguito n°1 ciclo per ogni incremento del carico di 10 kg_f fino a raggiungere un evidente imbozzamento permanente del montante prima del contatto tra il cuneo e lo stesso.

La prova è stata eseguita imponendo alla traversa della macchina uno spostamento verso il basso (fase di carico) e uno spostamento verso l'alto (fase di scarico) con velocità pari a $v = 5\text{ mm/min}$.

Si riportano di seguito le curve carico-tempo e carico-inclinazione.

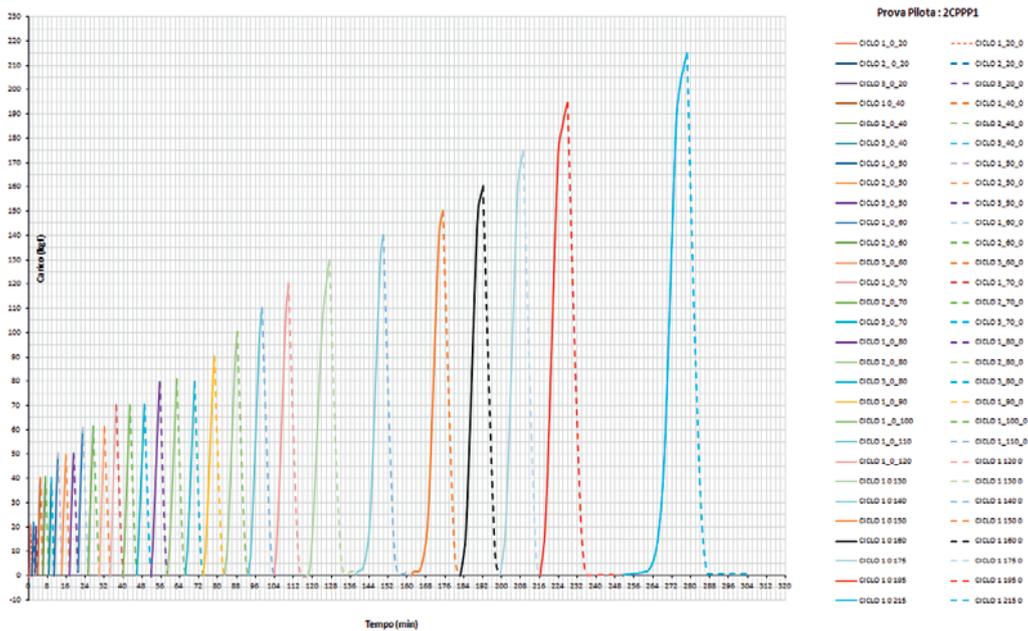


Figura 4.2.6-2: Curva carico-tempo

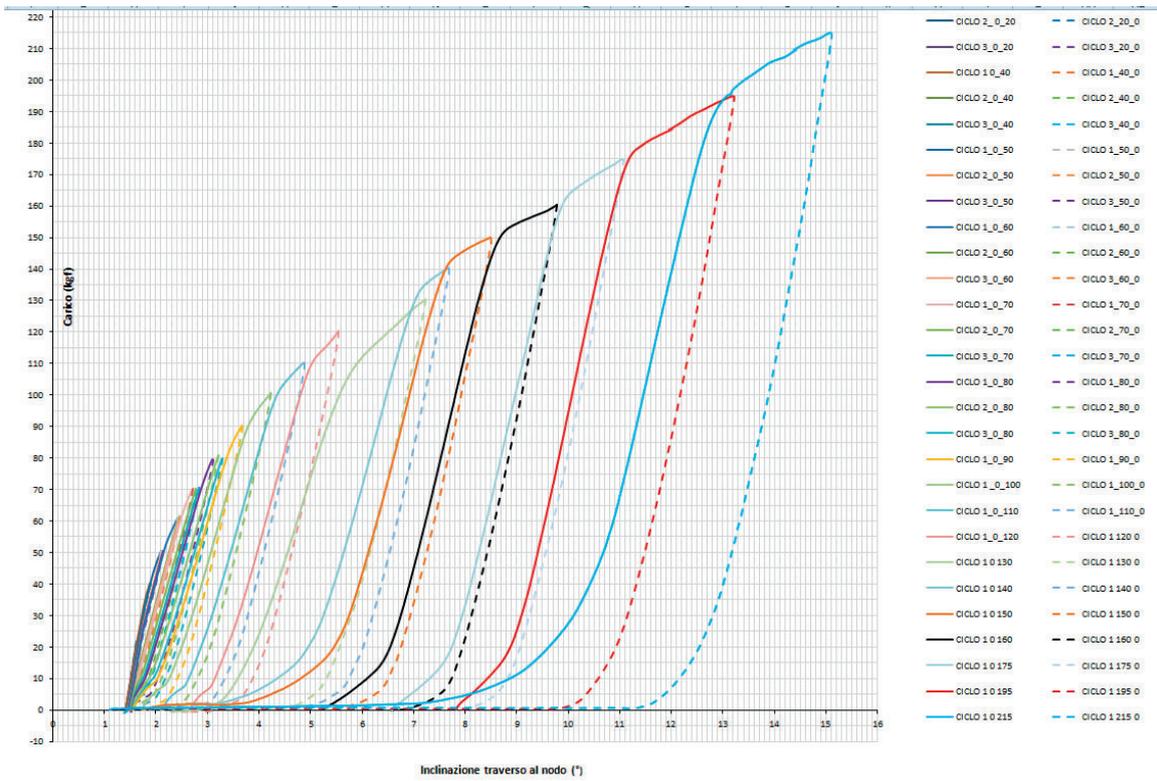


Figura 4.2.6-3 Curva carico-inclinazione traverso al nodo

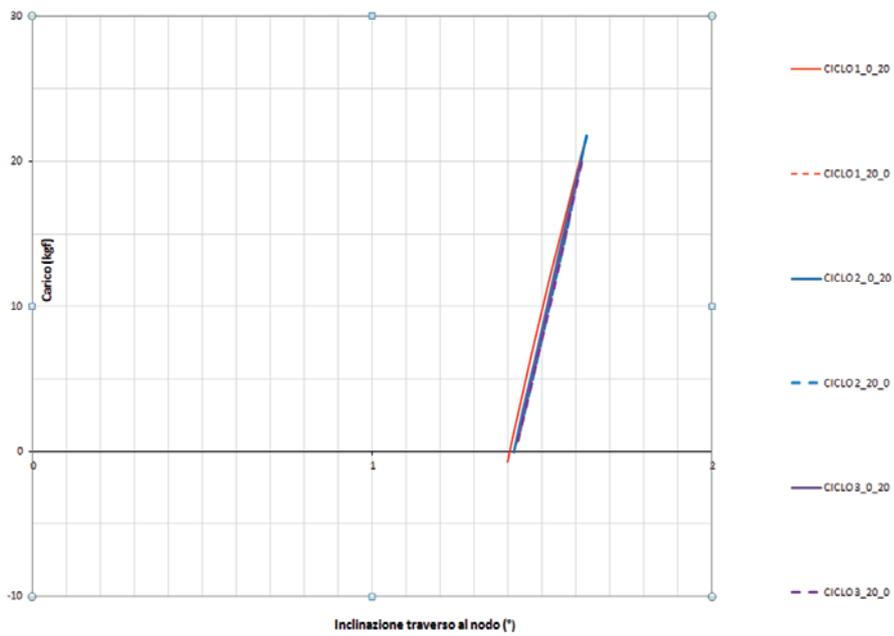


Figura 4.2.6-4 Curva parziale carico-inclinazione traverso al nodo

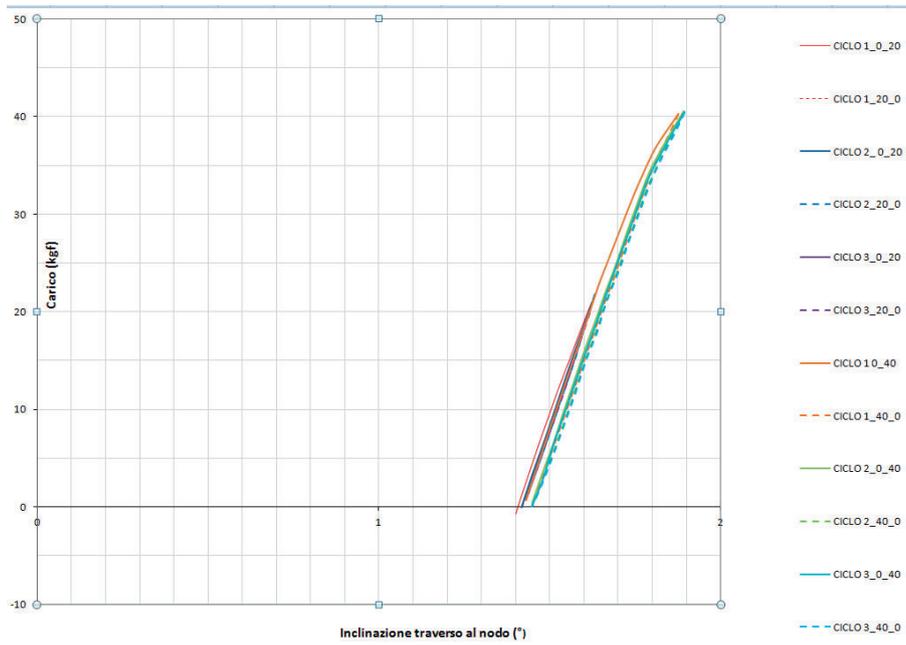


Figura 4.2.6-5 Curva parziale carico-inclinazione trasverso al nodo

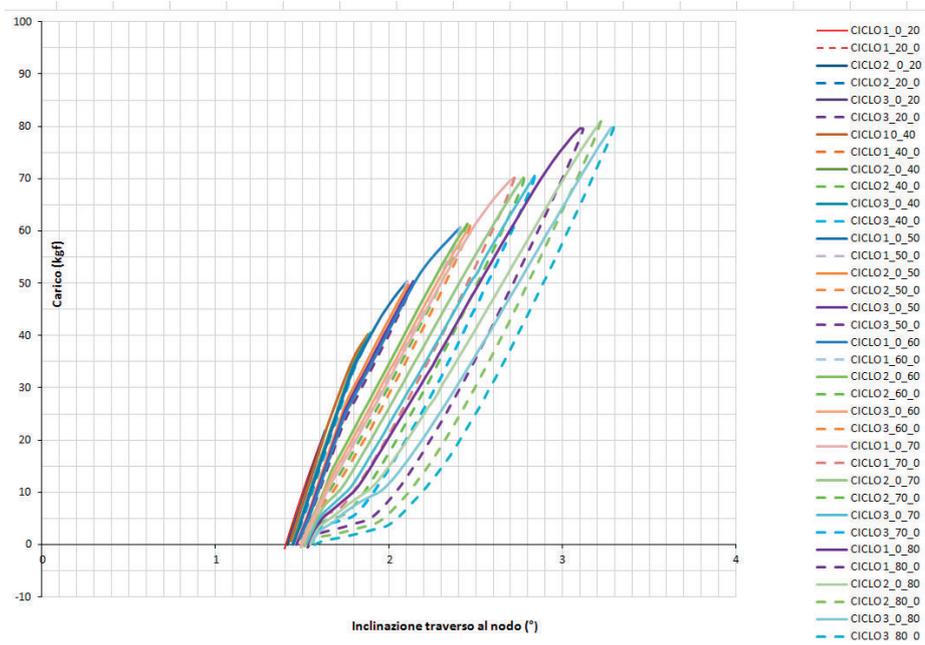


Figura 4.2.6-6 Curva parziale carico-inclinazione trasverso al nodo

4.2.6.1 Osservazioni sulla prova 3CPPP1

Si può osservare un comportamento elastico (piccole deformazioni residue allo scarico) nel range di carico $[0;(+20)]\text{kg}_f$ e nel range di carico $[0;(+40)]\text{kg}_f$.

Ai livelli di carico superiori sono evidenti deformazioni residue allo scarico che si amplificano all'aumentare del livello di carico.

Il massimo carico considerato risulta $F = 214,98\text{kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = 16,32^\circ$.

4.2.7 Prova 4CNPP1

La prova 4CNPP1 è una prova pilota ciclica completa a diversi livelli di carico, con inversione di segno. Partendo dalla posizione iniziale del sistema individuata dalla inclinazione del traverso pari a f_0 e carico nullo, si eseguono n° cicli per ogni livello di carico incrementato di 10 kg_f a partire da $(-10\text{ kg}_f; \varphi_0)$ fino a raggiungere un massimo globale.

La prova è stata eseguita imponendo alla traversa della macchina uno spostamento verso il basso (fase di carico) e uno spostamento verso l'alto (fase di scarico) con velocità pari a $v = 5\text{ mm/min}$.

Si riportano di seguito le curve carico-tempo e carico-inclinazione.

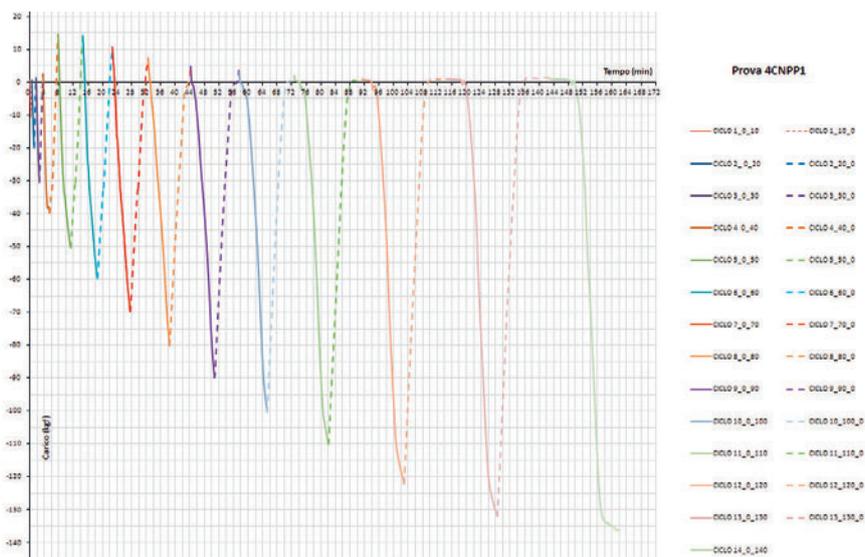


Figura 4.2.7-1 Curva carico-tempo

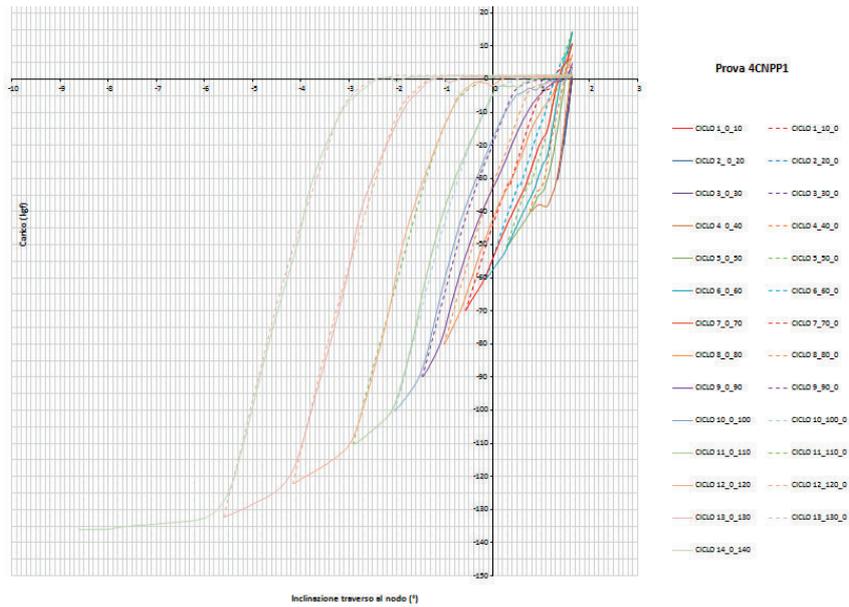


Figura 4.2.7-2: Curva carico-inclinazione traverso al nodo

4.2.7.1 Osservazioni sulla prova 4CNPP1

Si può osservare un comportamento elastico (piccole deformazioni residue allo scarico) fino al range di carico $[0;(-30)]\text{kg}_p$.

Ai livelli di carico superiori sono evidenti deformazioni residue allo scarico che si amplificano all'aumentare del livello di carico.

Il massimo carico considerato risulta $F = 136,14\text{kg}_p$; $\varphi_{\text{corr}} = 8,52^\circ$.

A questo livello di carico le deformazioni permanenti risultano maggiori di 4° .

4.2.8 Prova 4CPPP1

La prova 4CPPP1 è una prova pilota ciclica completa a diversi livelli di carico, con inversione di segno. Partendo dalla posizione iniziale del sistema individuata dalla inclinazione del traverso pari a φ_0 e carico nullo, si eseguono $n^\circ 1$ cicli per ogni livello di carico incrementato di $+10\text{ kg}_p$ a partire da $(+10\text{ kg}_p; \varphi_0)$ fino a raggiungere un evidente imbozzamento permanente del montante prima del contatto tra il cuneo e il montante.

La prova è stata eseguita imponendo alla traversa della macchina uno spostamento verso l'alto (fase di carico) e uno spostamento verso il basso (fase di scarico) con velocità pari a $v = 5\text{ mm/min}$.

Si riportano di seguito le curve carico-tempo e carico-inclinazione.

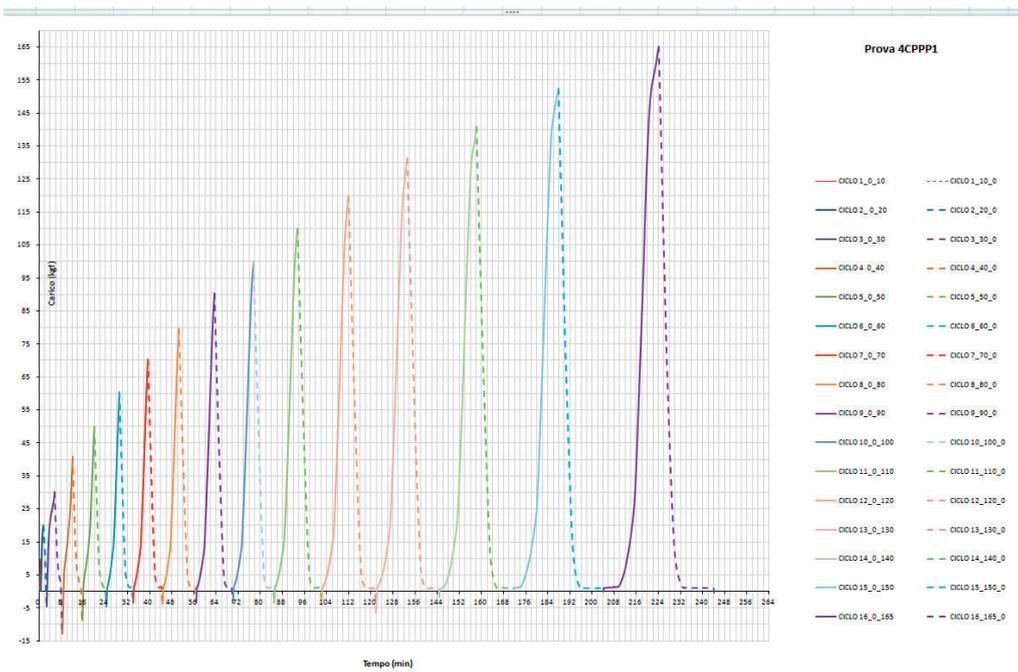


Figura 4.2.8-1 Curva carico-tempo

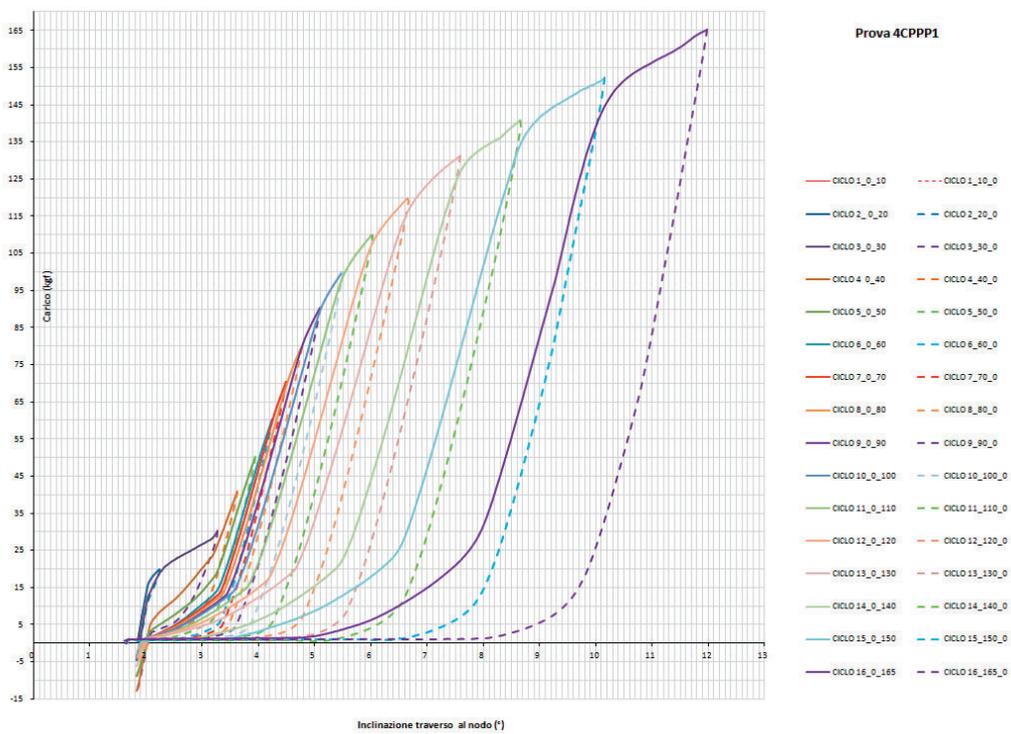


Figura 4.2.8-2 Curva carico-inclinazione traverso al nodo

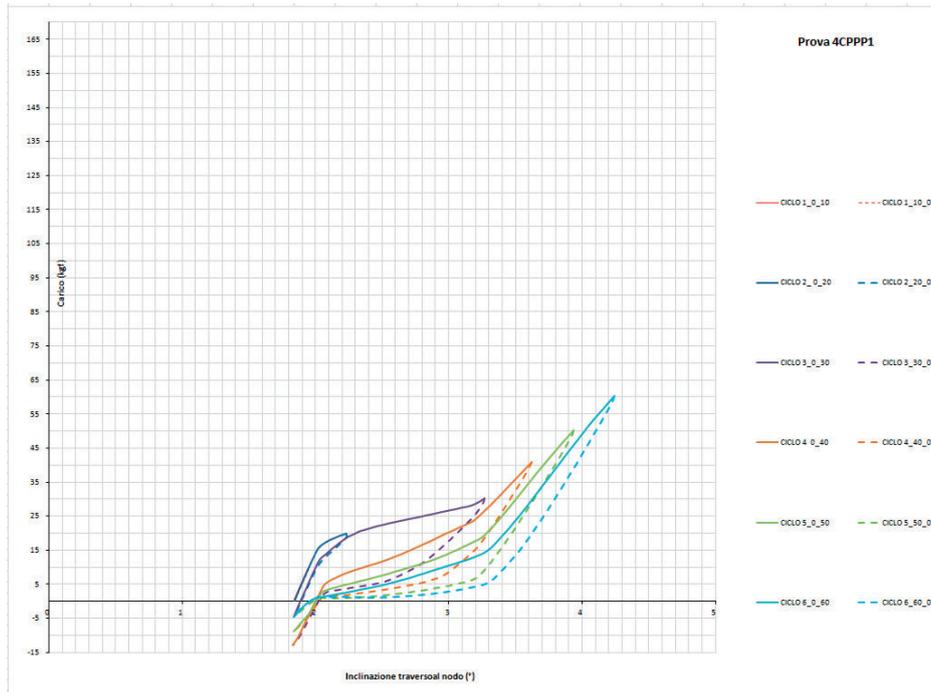


Figura 4.2.8-3 Curva parziale carico-inclinazione trasverso al nodo

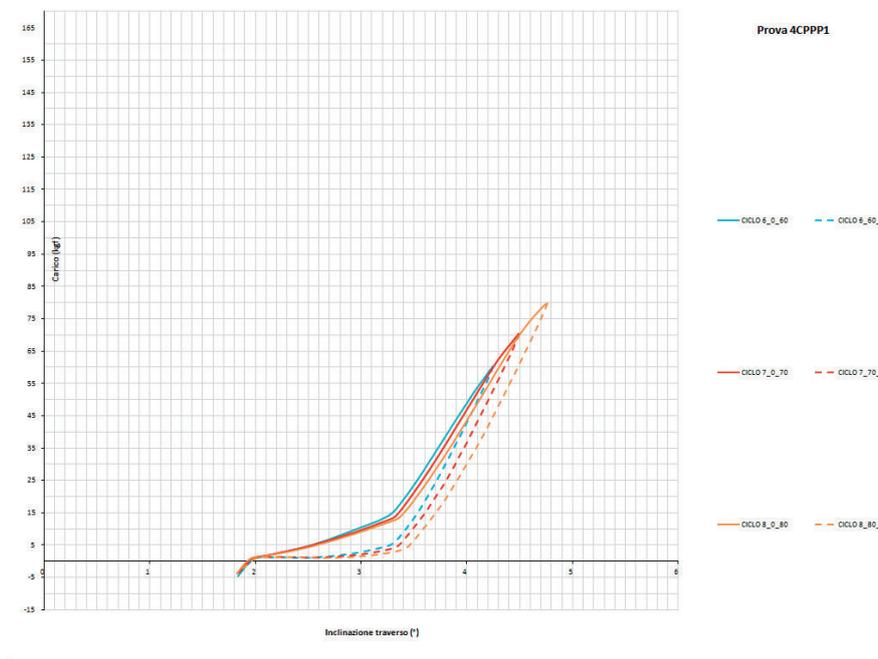


Figura 4.2.8-4 Curva parziale carico-inclinazione trasverso al nodo

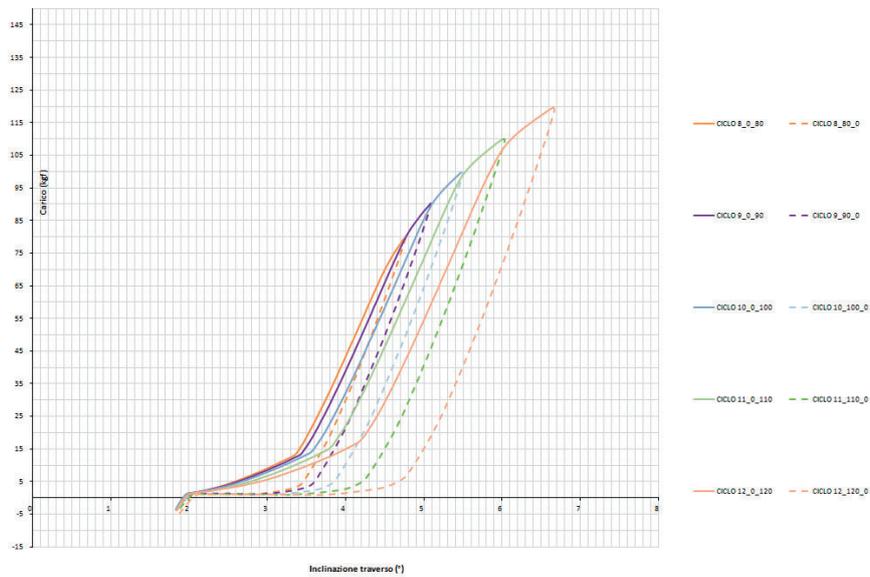


Figura 4.2.8-5 Curva parziale carico-inclinazione traverso al nodo

4.2.8.1 Osservazioni sulla prova 4CPPP1

Si può osservare un comportamento elastico (piccole deformazioni residue allo scarico) nel range di carico $[0; +20]$ kg_F.

Ai livelli di carico superiori sono evidenti deformazioni residue allo scarico che si amplificano all'aumentare del livello di carico.

Il massimo carico considerato risulta $F = 165,19 \text{ kg}_F$; $\varphi_{\text{corr}} = 11,98^\circ$.

5 Conclusioni

L'analisi della UNI EN 12811-3:2005 ha condotto allo sviluppo di procedure di prova necessarie alla determinazione dei seguenti parametri:

- corretta velocità di spostamento da imporre $v^{+,-}$;
 - resistenza caratteristica nel verso positivo o negativo del carico $R_k^{+,-}$;
 - range di carico ciclico completo per le prove a collasso $c_{full}^{+,-}$;
 - ampiezza delle fasi di carico e del numero di scarichi a zero oltre la fase ciclica (c_{full}) per le prove a collasso;
 - resistenza caratteristica nominale nel verso positivo o negativo del carico $R_{knom}^{+,-}$;
- e alla valutazione dell'influenza della tipologia delle prove pilota alla determinazione del valore di $R_{knom}^{+,-}$.

Il diagramma di flusso riportato in figura 3.5.1-1 riassume la procedura proposta per le prove sperimentali valide per la determinazione di $R_{knom}^{+,-}$.

I requisiti per le prove sperimentali secondo la UNI EN 12810-2:2004 e la UNI EN 12811-3:2005, necessarie alla valutazione del valore nominale del momento di giunzione caratteristico dei dispositivi di collegamento montante trasverso, di fatto individuano il *carico massimo stimato* come il fattore da cui partire per poter eseguire le prove stesse.

Da tale valore dipende in modo diretto o indiretto:

- il controllo della massima velocità di carico ammissibile $v_c^{+,-}$ per tutte le prove sperimentali;
- il valore delle $R_k^{+,-}$ resistenza caratteristica nel verso positivo o negativo del carico;
- il range $c_{full}^{+,-}$ per le prove a collasso;
- il valore delle $R_{knom}^{+,-}$ resistenza caratteristica nominale nel verso positivo o negativo del carico.

La norma non fornisce una definizione di carico massimo, né i criteri per la sua stima.

Data la finalità delle prove in oggetto è ragionevole identificare il valore del carico massimo con la condizione di rottura. La stessa norma, peraltro, non fornisce i criteri per l'individuazione di tale condizione.

Discendendo dalla definizione classica di rottura per provini in materiali metallici, la condizione di rottura del dispositivo può essere considerata quella per la quale la resistenza allo spostamento risulta decrescere definitivamente oltre un certo valore dello stesso spostamento.

Le risultanze sperimentali sul dispositivo di collegamento hanno dimostrato che la resistenza risulta decrescere definitivamente per inclinazioni elevate del trasverso, sia per prove negative che positive, maggiori per le positive che per le negative, con carichi registrati sensibilmente diversi nei due versi.

Il diverso comportamento del dispositivo di collegamento nel verso positivo rispetto al verso negativo dello spostamento imposto è evidente dalla forma della curva carico-tempo e carico-rotazione.

zione. Se per le prove negative è facilmente individuabile una condizione di picco del carico oltre il quale la resistenza decresce definitivamente, per le prove positive non è così. Infatti nel verso positivo il dispositivo è in grado di opporre resistenza fino a elevati carichi, con grandi rotazioni e dopo il verificarsi di diversi fenomeni di “incrudimento” del sistema (punti di cuspidi delle curve carico-tempo e carico-rotazione).

Il dispositivo di collegamento è un sistema di componenti che insieme contribuiscono alla sua resistenza. Nelle prove sperimentali il raggiungimento del picco di carico si verifica dopo la plasticizzazione di tutti gli elementi che costituiscono il dispositivo e non di quello più “debole”.

Queste considerazioni conducono a ripensare alla definizione classica di rottura.

Il controllo della velocità di carico media ha evidenziato in tutte le prove un rapido decremento, fino a valori prossimi allo zero, già molto prima in termini di spostamento e carico registrato, del raggiungimento della condizione di picco del carico.

Si potrebbe ipotizzare, quindi, di definire come condizione di rottura per questo tipo di dispositivo, la condizione di diminuzione sensibile (per esempio del 90%) della velocità di carico media rispetto al massimo valore registrato nella prova. Il valore massimo della velocità di carico media generalmente si raggiunge nella prima fase della prova, quando il comportamento del dispositivo appare lineare. Tale verifica comunque dovrà essere effettuata dopo l'esaurimento di tutti gli eventuali giochi, visto che anche tale condizione determina una diminuzione della velocità di carico media fino a valori prossimi allo zero.

In conclusione si ritiene che debba essere stabilita la definizione di condizione di rottura e di conseguenza il significato di *carico massimo*, posto alla base del calcolo della resistenza caratteristica del dispositivo di collegamento, attraverso la prosecuzione dell'attività di ricerca.

I risultati potranno essere utilizzati per favorire la revisione delle norme UNI EN 12810-2:2004 e UNI EN 12811-3:2005.

Bibliografia

[Cor-015] L. Cortis, F. M. Fabiani, L. Rossi, D. G. Svampa, *I ponteggi metallici fissi di facciata. Determinazione del valore nominale della resistenza caratteristica secondo la UNI EN 12811-3:2005 dei dispositivi di collegamento montante-traverso realizzati con sistemi modulari*, Roma, 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 12811-3:2005 "Attrezzature provvisoriale di lavoro - Parte 3: Prove di carico".

UNI EN 12810-2:2004 "Ponteggi di facciata realizzati con componenti prefabbricati - Parte 2: Metodi particolari di progettazione strutturale".

I Quaderni di ricerca

- 1 - G. Ciriello, M. De Felice, R. Mosca, M. Veltroni, *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, *Analisi e valutazione del comportamento dell'assorbitore di energia nei sistemi di arresto caduta con differenti masse di prova.*
- 3 - P. Rossi, *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, *Malattie professionali. Un modello di lettura (della numerosità) su "open data" dell'Inail.*
- 5 - L. Cortis, F. M. Fabiani, L. Rossi, D. G. Svampa, *Nuovi strumenti per la valutazione dello scivolamento e ribaltamento delle scale portatili*

