

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

Pubblicazione realizzata da

INAIL

Dipartimento innovazioni tecnologiche
e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici

RESPONSABILE SCIENTIFICO

Luigi Cortis

AUTORI

Luigi Cortis
Francesca Maria Fabiani
Luca Rossi
Davide Geoffrey Svampa

COLLABORAZIONI

Carlo Ratti
Calogero Vitale

OPERATORI TECNICI

Ivano Bevilacqua
Roberto Scaccia

contatti

INAIL-DIT

Dipartimento innovazioni tecnologiche
e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici
Via di Fontana Candida, 1
00040 Monte Porzio Catone (Roma)
dit@inail.it
www.inail.it

© 2015 INAIL

La pubblicazione viene distribuita gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo. È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

ISBN 978-88-7484-446-3

Tipolitografia INAIL - Milano, aprile 2015

Indice

Introduzione	5
Premessa	7
1. Analisi della UNI EN 12811-3:2005	9
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 trasverso	11
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	15
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	17
3.2 Prove pilota per la valutazione di R_k^+ (tre metodi alternativi)	17
3.2.1 I° metodo: valutazione di R_k^+ con prove monotone. $R_{k,I}^+$	17
3.2.2 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^+).	18
3.2.3 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^+)	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. $R_{k,I}^-$.	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 (influenza della inversione di carico nella fase ciclica sul valore di R_k^-)	22
3.4 Stima del numero di provini necessari per l'esecuzione delle prove pilota	22
3.4.1 Stima del numero di provini necessari per la taratura della strumentazione in termini di velocità di spostamento da imporre (v^*)	22
3.4.2 Stima del numero di provini necessari per la taratura della strumentazione in termini di velocità di spostamento imposto (v)	23
3.4.3 Stima del numero di provini necessari per la valutazione di R_k^+ (tre metodi alternativi)	23
3.4.4 Stima del numero di provini necessari per la valutazione di R_k^- (tre metodi alternativi)	23
3.5 Prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ e di $R_{k,nom}^-$	23
3.5.1 Prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,I}$	26
3.5.2 Prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,II}$	28
3.5.3 Prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,III}$	28
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 cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ e di $R_{k,nom}^-$	30
3.6.1 Stima del numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,I}$	30
3.6.2 Stima del numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,II}$	30
3.6.3 Stima del numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,III}$	30
3.6.4 Stima del numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,I}$	30
3.6.5 Stima del numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,II}$	30
3.6.6 Stima del numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,III}$	30
3.7 Valutazione di $R_{k,nom}^+$ e di $R_{k,nom}^-$ dai risultati delle prove sperimentali	30

4. Campagna di sperimentazione	31
4.1 Disposizione e procedimento di prova	33
4.2 Risultati sperimentali	36
4.2.1 Prove 1MNPP	36
4.2.1.1 Prova 1MNPPV1	37
4.2.1.2 Prova 1MNPPV2	38
4.2.1.3 Prova 1MNPPV3 = 1MNPPS1	39
4.2.1.4 Prova 1MNPPS2	40
4.2.1.5 Prova 1MNPPS3	41
4.2.1.6 Osservazioni sulle prove 1MNPP – dalla 1MNPPV1 alla 1MNPPS3	42
4.2.1.7 Prova 1MNPPS4	43
4.2.1.8 Prova 1MNPPS5	49
4.2.1.9 Prova 1MNPPS6	52
4.2.1.10 Osservazioni sulle Prove 1MNPP – dalla 1MNPPS4 alla 1MNPPS6	55
4.2.2 Prove 1MPPP	56
4.2.2.1 Prova 1MPPPV1	57
4.2.2.2 Prova 1MPPPV2 = 1MPPPS1	59
4.2.2.3 Prova 1MPPPS2	63
4.2.2.4 Prova 1MPPPS3	66
4.2.2.5 Osservazioni sulle prove 1MPPP – dalla 1MPPPV1 alla 1MPPPS3	70
4.2.2.6 Prova 1MPPPS4	72
4.2.2.7 Prova 1MPPPS5	78
4.2.2.8 Prova 1MPPPS6	81
4.2.2.9 Prova 1MPPPS7	86
4.2.2.10 Prova 1MPPPS8	91
4.2.2.11 Osservazioni sulle prove 1MPPP – dalla 1MPPPS4 alla 1MPPPS8	95
4.2.3 Prova 2CNPP1	98
4.2.3.1 Osservazioni sulla prova 2CNPP1	101
4.2.4 Prova 2CPPP1	102
4.2.4.1 Osservazioni sulla prova 2CPPP1	107
4.2.5 Prova 3CNPP1	108
4.2.5.1 Osservazioni sulla prova 3CNPP1	112
4.2.6 Prova 3CPPP1	113
4.2.6.1 Osservazioni sulla prova 3CPPP1	122
4.2.7 Prova 4CNPP1	123
4.2.7.1 Osservazioni sulla prova 4CNPP1	127
4.2.8 Prova 4CPPP1	128
4.2.8.1 Osservazioni sulla prova 4CPPP1	137
5. Conclusioni	138
Appendice: UNI EN 12811-3:2005, estratto del punto 10	140

Introduzione

Nel corso degli ultimi 50 anni l'evoluzione tecnologica sulle opere provvisionali è stata decisamente consistente, in quanto si è passati da realizzazioni quasi artigianali ad industriali che si avvalevano sempre più di strumenti scientifici e sperimentali, soprattutto col passaggio ai prodotti fabbricati in metallo anziché in legname.

Le opere provvisionali erano quindi caratterizzate da una elevata snellezza delle aste e da una elevata mobilità dei nodi dei telai costituenti la struttura.

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 di opere provvisionali, quali i 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 traverso/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 per la fabbricazione e le prove delle attrezzature provvisionali di lavoro e dei ponteggi di facciata che richiedono principalmente l'analisi del II ordine.

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.

Premessa

Il presente studio si inserisce nell'ambito della linea di ricerca L17 "L'innovazione tecnologica relativa allo sviluppo di strumenti e metodologie atte al miglioramento della sicurezza delle attrezzature provvisionali utilizzate nei cantieri temporanei o mobili con particolare riferimento ai ponteggi metallici fissi di facciata" (Responsabile Luigi Cortis) del Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e Sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici, che fa parte del programma di ricerca P03 "La sicurezza nel settore delle costruzioni" (Responsabile Luigi Cortis).

La linea di ricerca L17 si propone di studiare le opere provvisionali impiegate nei cantieri temporanei o mobili mediante l'analisi della normativa europea esistente e l'individuazione di strumenti che ne facilitino l'applicazione.

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 provvisionali.

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 provvisorie 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".

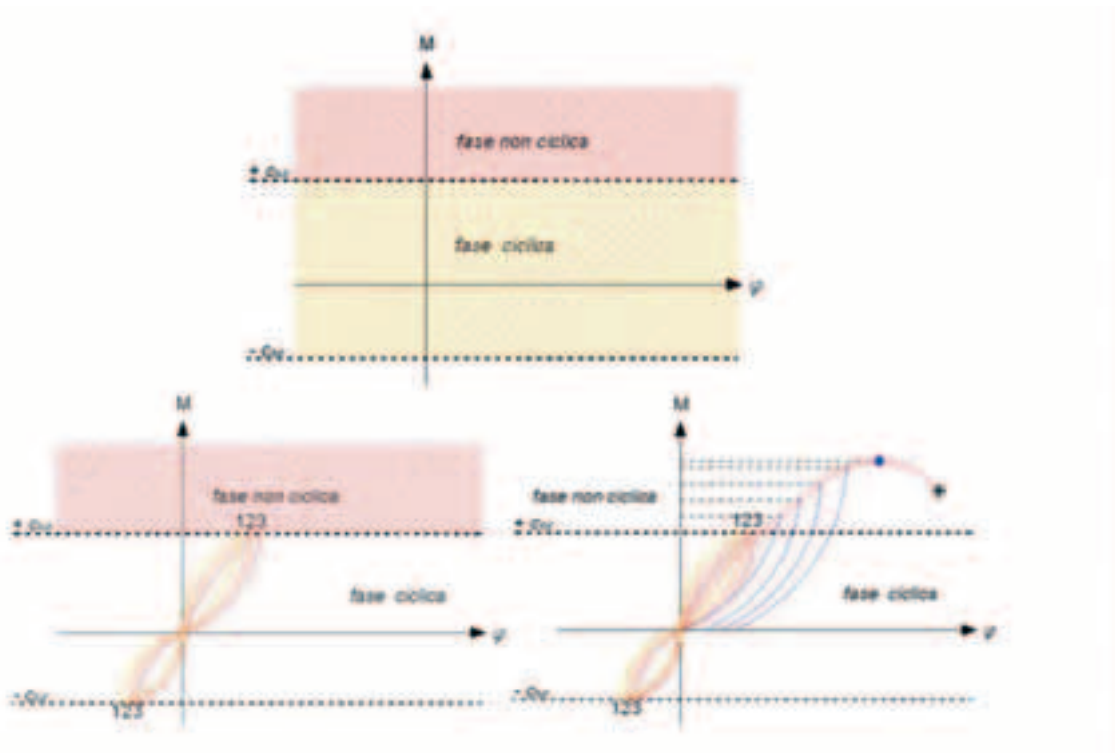


Figura 1-1 Schematizzazione della prova a collasso per la valutazione della resistenza del dispositivo di collegamento con rottura nel verso positivo del carico in accordo al punto 7.2 della UNI EN 12811-3:2005. Individuazione della fase ciclica e della fase non ciclica in funzione di

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

La norma 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 trasverso 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 trasverso

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 trasverso.

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.

Si riporta inoltre in Appendice 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 1¹; 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:

- a) 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);*
- b) 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:

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

¹ Il prospetto 1 non riporta la velocità di carico limite

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 plastiche². Controllare, quindi, nel grafico spostamento-carico

² Il concetto di deformazione plastica è strettamente collegato a quello di duttilità dei materiali. “Per molti metalli, bassi livelli di carico applicati ad un campione di materiale determinano in questo un comportamento elastico: ad ogni incremento del carico corrisponde un aumento proporzionale della deformazione e, quando il carico viene a rimosso, il campione ritorna esattamente alla sua configurazione originaria. Tuttavia, una volta che il carico eccede una certa soglia di resistenza (tensione di snervamento), la deformazione aumenta più sensibilmente rispetto al regime elastico e, rimuovendo il carico, una parte di questa continua a permanere sul campione scarico: è quello che definisce il comportamento plastico di un materiale. La fase di passaggio tra deformazione elastica e plastica è chiamata snervamento. La fase di snervamento è seguita tipicamente da una fase di incrudimento che porta alla rottura del materiale. Le tre fasi descritte (elastica, snervamento ed incrudimento) sono pressoché sempre presenti nel comportamento di tutti i materiali, ma possono avere diversa estensione. In alcuni casi la fase di snervamento è molto estesa ($\Delta\epsilon^p \approx 1.0 - 2.0\%$): si parla in tal caso di materiali duttili (acciaio dolce, rame, alluminio, ecc.). In altri lo snervamento può mancare del tutto: si parla di materiali incruditi (acciaio ad alta resistenza, ecc.). In altri ancora, anche la fase di incrudimento è molto ridotta e la fase elastica è seguita immediatamente dalla rottura: si parla in tal caso di materiali fragili (vetro, roccia, ecc.). I materiali duttili sono pertanto quei materiali dove il fenomeno della plasticità acquista maggiore rilevanza, potendo questi sopportare grandi deformazioni prima che possano insorgere fenomeni di rottura. In particolare, si parla di comportamento plastico perfetto quando, nello snervamento, i materiali esibiscono grandi deformazioni plastiche irreversibili senza incrementi dello stato di sollecitazione (tratto da WIKIPEDIA).”



Curva tensione-deformazione di materiali duttili

Curva tens.-def.. di materiali incrudenti

Curva tens.-def. di materiali fragili

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 (Vedi le prime due figure della nota 2).

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.

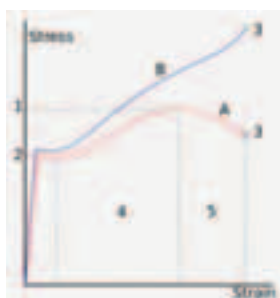
Il carico massimo stimato verrà valutato con ulteriori prove pilota tarate come appena descritto. Noto il carico massimo stimato, sarà possibile valutare una velocità di spostamento conforme alla norma, da imporre per le altre prove sperimentali.

Si precisa che la determinazione della velocità di spostamento deve essere in generale eseguita per entrambi i versi, positivo e negativo, 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 n_{pDP} 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.



Stress vs. Strain curve for structural steel. Reference numbers are:

- 1 - Ultimate Strength
- 2 - Yield Strength(elastic limit)
- 3 - Rupture
- 4 - Strain hardening region
- 5 - Necking region
- A: Apparent stress (F/A0)
- B: Actual stress (F/A)

I concetti sopra esposti possono essere applicati anche ad un elemento strutturale generico sottoposto ad un certo carico. Si parlerà quindi di comportamento duttile, di deformazioni plastiche dell'elemento strutturale. " Il fenomeno della plasticità è influenzato sia dalla temperatura che dalla velocità di applicazione dei carichi: bassi valori della temperatura (ed elevate velocità di deformazione) tendono a ridurre l'entità dei fenomeni plastici, mentre valori alti di temperatura (e deformazioni lente) tendono ad accentuare la presenza di tali fenomeni (tratto da WIKIPEDIA)".

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.

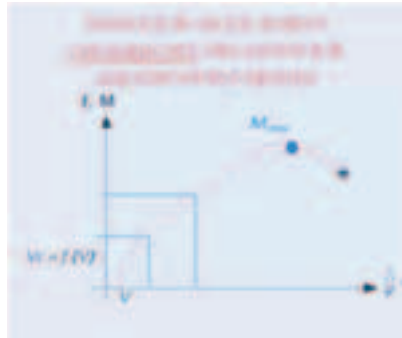


Figura 3.1.2-1 Relazione fra la velocità di spostamento imposto v^+ (asse delle ascisse) e la velocità di carico statico v_c^+ conseguente (asse delle ordinate)

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.

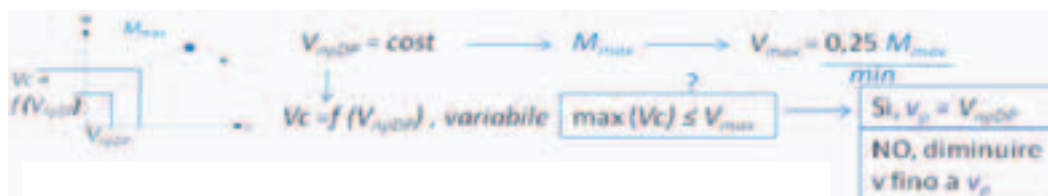


Figura 3.1.2-2 Diagramma di flusso delle operazioni da eseguire per la valutazione della velocità di spostamento v_p^+ che determina una velocità di carico statico non maggiore del 25% del carico massimo relativo alla prova che si è appena eseguita

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 due³ prove pilota per la valutazione del carico massimo stimato al minuto nello stesso verso di spostamento scelta ai punti precedenti.

Con gli stessi criteri adottati in 10.8 della UNI EN 12811-3:2005, che si riporta integralmente in Appendice, 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^-).

³ Per la valutazione del carico massimo stimato M_{max} con una trattazione statistica corretta, devono essere eseguite almeno tre prove pilota, omogenee in termini di velocità e ovviamente di verso di spostamento imposto. L'ultima prova eseguita al punto precedente è valida per la stima di M_{max} perché già eseguita alla velocità 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%⁴.

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 quantile⁵ (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

La stima di M_{max} deve essere eseguita per l'altro verso 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.

⁴Il punto 10.8 fornisce le indicazioni per la determinazione statistica del valore caratteristico di base della resistenza $R_{k,b}$ dei componenti metallici, applicabile anche ai dispositivi di collegamento oggetto del presente documento (10.1 di UNI EN 12811-3:2005). Più precisamente la determinazione di $R_{k,b}$ viene eseguita valutando statisticamente i valori ultimi regolati $r_{u,i}^c$ che rappresentano valori di rottura $r_{u,i}^a$ regolati utilizzando opportuni coefficienti per tenere in conto le variazioni delle dimensioni effettive delle sezioni trasversali rispetto a quelle nominali (10.6 di UNI EN 12811-3:2005) e la proporzione delle proprietà dei materiali effettive rispetto a quelle garantite (10.7 di UNI EN 12811-3:2005). Inoltre i valori ultimi di rottura $r_{u,i}^a$ vengono determinati sulla base della costruzione di funzioni che approssimino le curve sperimentali spostamento carico (10.2; 10.3; 10.4 di UNI EN 12811-3:2005) e non coincidono con il valore massimo del carico ottenuto per ogni prova. Quindi si può dire che il valore caratteristico di base della resistenza $R_{k,b}$ viene determinato sulla base di valori ultimi approssimati come appena descritto. Qui invece il valore del carico massimo stimato viene determinato direttamente sulla base dei valori massimi registrati per ogni prova, ritenendo non influente la regolazione dei valori al fine della valutazione della velocità di spostamento v da imporre (vedi par. 3.1.4 del presente documento).

⁵ Prospetto 4, paragrafo 8 della UNI EN 12811-3:2005

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

La velocità di spostamento imposto v nel verso di spostamento scelto 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 sperimentali⁶.

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 a rottura in controllo di spostamenti nel verso positivo e imponendo la velocità di spostamento v^+ .

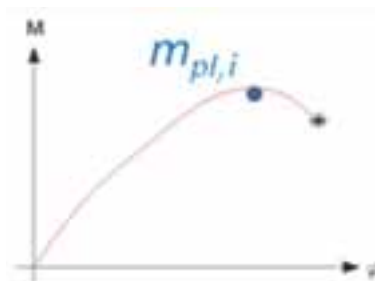


Figura 3.2.1-1. Schematizzazione di una prova pilota monotona nel verso positivo dello spostamento (I° metodo) per la valutazione di R_k

⁶ Secondo il punto 7.2.2 della UNI EN 12811-3:2005 “Almeno cinque prove uguali devono essere eseguite per ogni parametro tracciato”. Qui R_k non si intende come vero e proprio parametro, ma un valore di riferimento per tarare il range di carico c_{full} . Comunque per ottenere una valutazione statistica corretta sono necessari almeno tre valori di base per il calcolo.

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

Ipotizzando una distribuzione normale logaritmica dei carichi massimi ottenuti, si considera per $R_{k,l}^+$ il valore caratteristico relativo al primo metodo quale il quantile del 5% per un livello di confidenza del 75%⁷.

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

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

Risulterà $R_{k,l}^+ = e^{y_5}$

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

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

$k_{sk} = 3,15$ è il fattore quantile⁸ (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

3.2.2 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^+).

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 nel verso positivo 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^+ .

⁷ Vedi nota 4. Il valore caratteristico $R_{k,l}^+$ viene determinato direttamente sulla base dei valori massimi registrati per ogni prova, ritenendo non influente la regolazione dei valori al fine della valutazione del range di carico ciclico c_{full} (vedi par. 2 del presente documento).

⁸ Prospetto 4, paragrafo 8 della UNI EN 12811-3:2005

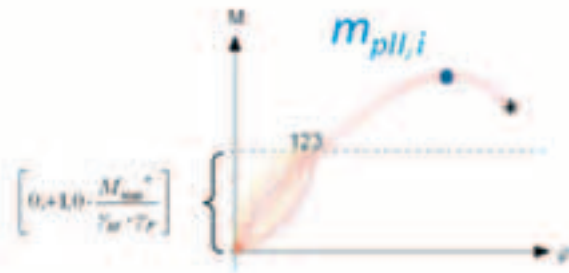


Figura 3.2.2-1. Schematizzazione di una prova pilota del tipo ciclica senza inversione di carico (II° metodo) per la valutazione di R_k

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%⁹.

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

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

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

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

$k_{sk} = 3,15$ è il fattore quantile¹⁰ (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. $R_{k,III}^+$ (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:

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

⁹ Vedi note 4 e 7

¹⁰ Prospetto 4, paragrafo 8 della UNI EN 12811-3:2005

dove:

M_{max}^+ è il carico massimo stimato al minuto nel verso positivo del carico determinato al paragrafo 3.1.3;

M_{max}^- è il carico massimo stimato al minuto nel verso negativo 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^+ .

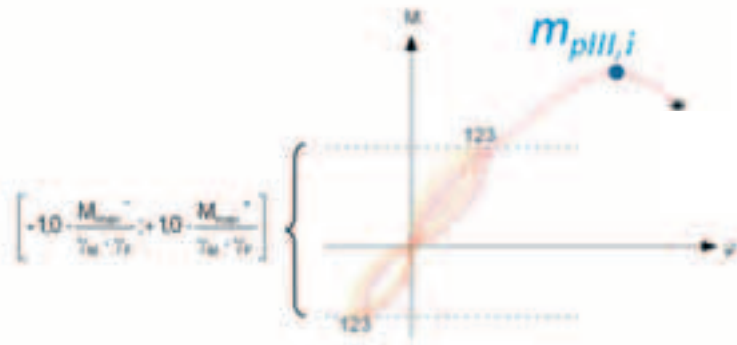


Figura 3.2.3-1. Schematizzazione di una prova pilota del tipo ciclica con inversione di carico (III° metodo) per la valutazione di R_k

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%¹¹

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 $m_{(pIII,i)}^+$

$k_{sk} = 3,15$ è il fattore quantile¹² (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

¹¹ Vedi note 4, 7 e 9.

¹² Prospetto 4, paragrafo 8 della UNI EN 12811-3:2005

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

In modo analogo alla determinazione di R_k^+ (vedi paragrafo 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. $R_{k,I}^-$.

Il metodo proposto è analogo a quello descritto al paragrafo 3.2.1.

Si eseguono tre prove a rottura in controllo di spostamenti nel verso negativo e imponendo la velocità di spostamento v^- .

Per la valutazione di $R_{k,I}^-$, si eseguono gli stessi passi illustrati al paragrafo 3.2.1 effettuando le seguenti opportune sostituzioni con ovvio significato dei simboli:

v^-	al posto di v^+
$R_{k,I}^-$	al posto di $R_{k,I}^+$
$m_{(pI,1)}^-$	al posto di $m_{(pI,1)}^+$
$m_{(pI,2)}^-$	al posto di $m_{(pI,2)}^+$
$m_{(pI,3)}^-$	al posto di $m_{(pI,3)}^+$

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^-)

Il metodo proposto è analogo a quello descritto al paragrafo 3.2.2.

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:

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

dove:

M_{\max}^- è il carico massimo stimato al minuto nel verso negativo 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 negativo del carico fino alla rottura sempre alla velocità di spostamento imposto v^- .

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

Per la valutazione di $R_{k,II}^-$, si eseguono gli stessi passi illustrati al paragrafo 3.2.2 effettuando le seguenti opportune sostituzioni con ovvio significato dei simboli:

v^-	al posto di v^+
$R_{k,II}^-$	al posto di $R_{k,II}^+$
$m_{(pII,1)}^-$	al posto di $m_{(pII,1)}^+$
$m_{(pII,2)}^-$	al posto di $m_{(pII,2)}^+$
$m_{(pII,3)}^-$	al posto di $m_{(pII,3)}^+$

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

Il metodo proposto è analogo a quello descritto al paragrafo 3.2.3.

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 nel verso positivo del carico determinato al paragrafo 3.1.3;

M_{\max}^- è il carico massimo stimato al minuto nel verso negativo 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 negativo del carico fino alla rottura sempre alla velocità di spostamento imposto v^- .

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

Per la valutazione di $R_{k,III}^-$, si eseguono gli stessi passi illustrati al paragrafo 3.2.3 effettuando le seguenti opportune sostituzioni con ovvio significato dei simboli:

$$\begin{aligned} v^- & \text{ al posto di } v^+ \\ R_{k,III}^- & \text{ al posto di } R_{k,II}^+ \\ m_{(pIII,1)}^- & \text{ al posto di } m_{(pIII,1)}^+ \\ m_{(pIII,2)}^- & \text{ al posto di } m_{(pIII,2)}^+ \\ m_{(pIII,3)}^- & \text{ al posto di } m_{(pIII,3)}^+ \end{aligned}$$

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 $(22 + n_{pDP}^+ + n_p^+ + n_{pDP}^- + n_p^-) \geq 24$ inizialmente incognito.

Tale stima viene eseguita sommando il numero di provini di cui ai seguenti sottoparagrafi.

3.4.1 Stima del numero di provini necessari per la taratura della strumentazione in termini di velocità di spostamento da imporre (v^+)

- Numero di provini per la determinazione della velocità di spostamento da imporre nel verso positivo v_{pDP}^+ che determina il pieno sviluppo delle deformazioni plastiche $i^+ \in [1; n_{pDP}^+]$

Con:

$$n_{pDP}^+ = \begin{cases} 1, & \text{se si raggiunge al primo tentativo il pieno sviluppo delle deformazioni plastiche;} \\ \text{incognito, altrimenti} \end{cases}$$

- Numero di provini per la determinazione della velocità di spostamento da imporre nel verso positivo v_p^+ che determina una velocità di carico statico non maggiore del 25% del carico massimo: $j^+ \in [0; n_p^+]$

Con:

$$n_p^+ = \begin{cases} 0, & \text{se con le } n_{pDP}^+ \text{ si raggiunge anche il controllo della velocità rispetto al carico massimo;} \\ \text{incognito, altrimenti} \end{cases}$$

- Numero di provini per la valutazione del carico massimo stimato M_{\max}^+ : 2

In definitiva il numero di provini necessari per la taratura della strumentazione in termini di velocità di spostamento da imporre (v^+) risulta pari ad almeno 3 con un massimo di $(2 + n_{pDP}^+ + n_p^+) \geq 3$ inizialmente incognito.

3.4.2 Stima del numero di provini necessari per la taratura della strumentazione in termini di velocità di spostamento da imporre (v^-)

- Numero di provini per la determinazione della velocità di spostamento da imporre nel verso negativo v_{npDP}^- che determina il pieno sviluppo delle deformazioni plastiche: $i^- \in [1; n_{pDP}^-]$

Con:

$$n_{pDP}^- = \begin{cases} 1, & \text{se si raggiunge al primo tentativo il pieno sviluppo delle deformazioni plastiche;} \\ \text{incognito, altrimenti} \end{cases}$$

- Numero di provini per la determinazione della velocità di spostamento da imporre nel verso negativo v_p^- che determina una velocità di carico statico non maggiore del 25% del carico massimo $j^- \in [0; n_p^-]$

Con:

$$n_p^- = \begin{cases} 0, & \text{se con le } n_{pDP}^- \text{ si raggiunge anche il controllo della velocità rispetto al carico massimo;} \\ \text{incognito, altrimenti} \end{cases}$$

- Numero di provini per la valutazione del carico massimo stimato M_{\max}^- : 2

In definitiva il numero di provini necessari per la taratura della strumentazione in termini di velocità di spostamento da imporre (v^+) risulta pari ad almeno 3 con un massimo di $(2 + n_{pDP}^- + n_p^-) \geq 3$ inizialmente incognito.

3.4.3 Stima del numero di provini necessari per la valutazione di R_k^+ (tre metodi alternativi)

- Numero di provini per la valutazione di $R_{k,I}^+$ (I° metodo): 3
- Numero di provini per la valutazione di $R_{k,II}^+$ (II° metodo): 3
- Numero di provini per la valutazione di $R_{k,III}^+$ (III° metodo): 3

In definitiva il numero di provini necessari per la valutazione di R_k^+ risulta pari a 9.

3.4.4 Stima del numero di provini necessari per la valutazione di R_k^- (tre metodi alternativi)

- Numero di provini per la valutazione di $R_{k,I}^-$ (I° metodo): 3
- Numero di provini per la valutazione di $R_{k,II}^-$ (II° metodo): 3
- Numero di provini per la valutazione di $R_{k,III}^-$ (III° metodo): 3

In definitiva il numero di provini necessari per la valutazione di R_k^- risulta pari a 9.

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

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, scelta un verso di carico (positiva o negativa) 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 del verso 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 del verso scelto 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, scelta 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

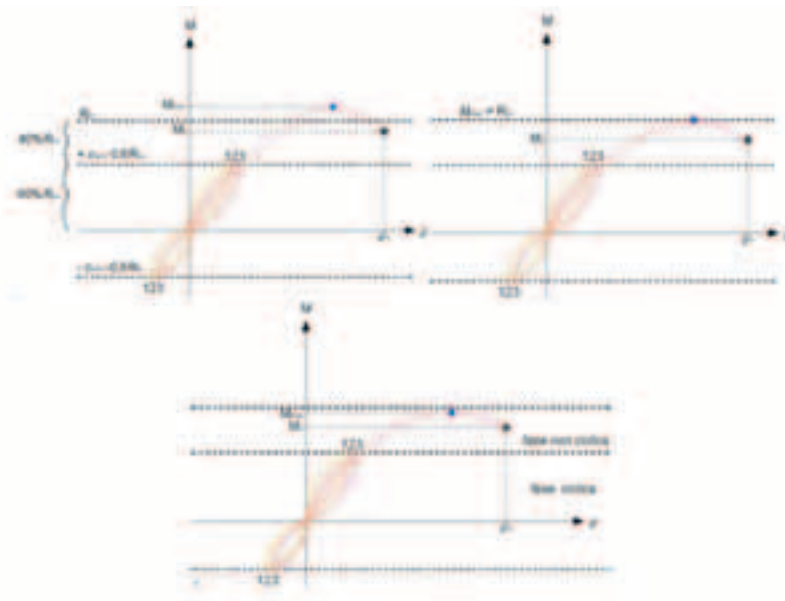


Figura 3.5-1 Schematizzazione della prova a collasso per la valutazione della resistenza del dispositivo di collegamento con rottura nel verso positivo del carico in accordo al punto 7.2 della UNI EN 12811-3:2005. Individuazione del punto di massimo della curva M-φ. M_{max} può risultare maggiore uguale 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 $P = M_{max}^+$
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 $M_{rott,i}^+$ 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 $M_{rott,i}^+$ 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 $M_{rott,i}^+$ 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
$M_{rott,i}^+$ (Nm)	$M_{rott,1}^+$	$M_{rott,2}^+$	$M_{rott,3}^+$	$M_{rott,4}^+$	$M_{rott,5}^+$

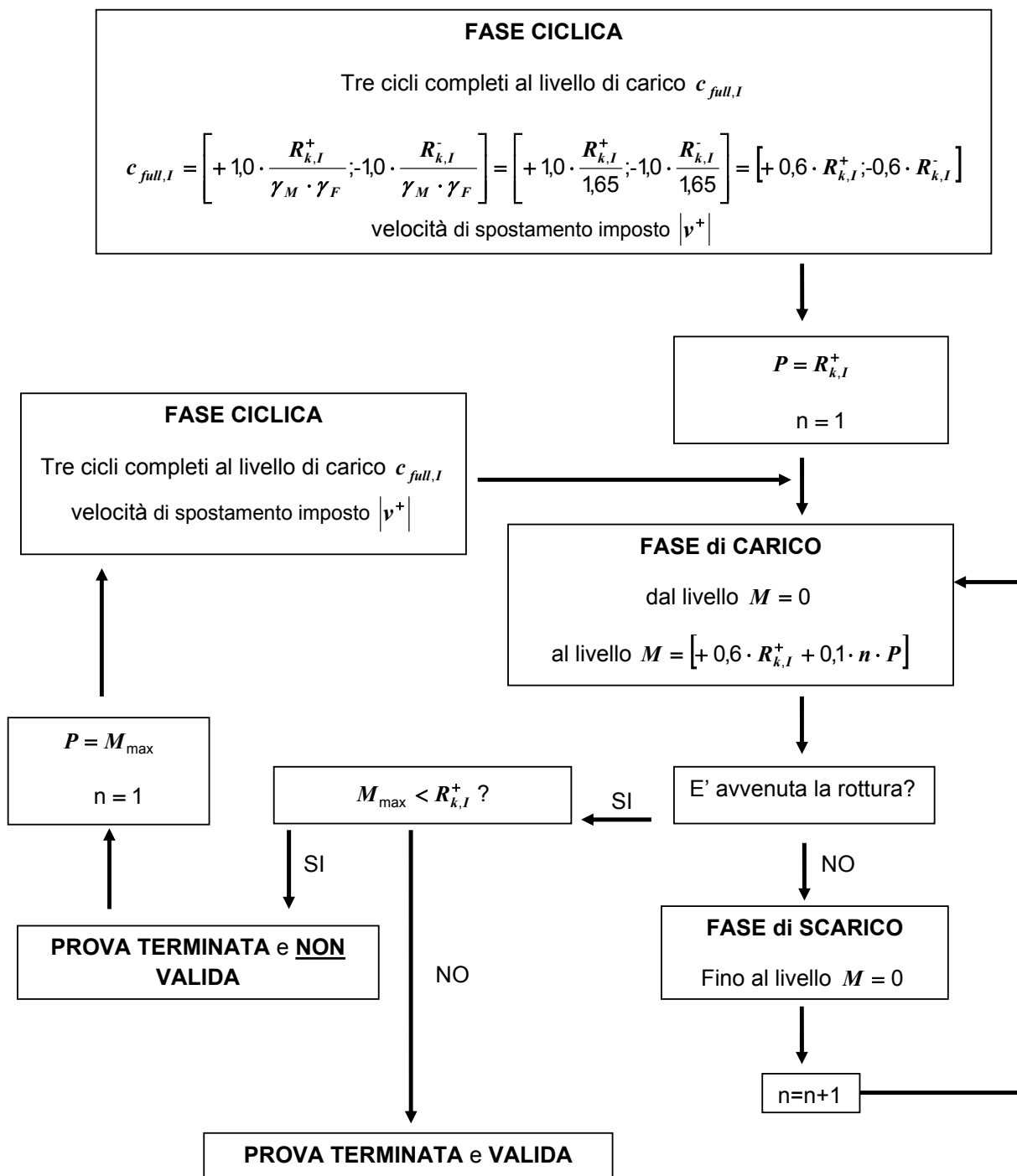


Figura 3.5.1-1 Diagramma di flusso

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 seguenti opportune sostituzioni con ovvio significato dei simboli:

$$\begin{aligned} c_{full,II} & \text{ al posto di } c_{full,I} \\ R_{k,II}^+ & \text{ al posto di } R_{k,I}^+ \\ M_{rott,i}^{II+} & \text{ al posto di } M_{rott,i}^{I+} \end{aligned}$$

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

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

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 seguenti opportune sostituzioni con ovvio significato dei simboli:

$$\begin{aligned} c_{full,III} & \text{ al posto di } c_{full,I} \\ R_{k,III}^+ & \text{ al posto di } R_{k,I}^+ \\ M_{rott,i}^{III+} & \text{ al posto di } M_{rott,i}^{I+} \end{aligned}$$

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

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

3.5.4 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:

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 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

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

12. Qualora sia intervenuta la rottura, prima del valore $R_{k,l}^-$ si ritorna al passo 3.
13. Qualora sia intervenuta la rottura, al valore $R_{k,l}^-$ si registra il $M_{rott,i}^1$ 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

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

16. Qualora sia intervenuta la rottura, si registra il $M_{rott,i}^1$ 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 $0,1 R_{k,l}^-$.
18. Si ripete il punto 17 fino al raggiungimento della rottura del dispositivo. Si registra il carico massimo pari a $M_{rott,i}^1$ 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
$M_{rott,i}^1$ (Nm)	$M_{rott,1}^1$	$M_{rott,2}^1$	$M_{rott,3}^1$	$M_{rott,4}^1$	$M_{rott,5}^1$

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 seguenti opportune sostituzioni con ovvio significato dei simboli:

$c_{full,II}$ al posto di $c_{full,I}$

$R_{k,II}^-$ al posto di $R_{k,I}^-$

$M_{rott,i}^{II}$ al posto di $M_{rott,i}^I$

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

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

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 seguenti opportune sostituzioni con ovvio significato dei simboli:

$c_{full,III}$ al posto di $c_{full,I}$

$R_{k,III}^-$ al posto di $R_{k,I}^-$

$M_{rott,i}^{III}$ al posto di $M_{rott,i}^I$

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

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

3.6 Stima del numero di provini necessari per l'esecuzione delle prove cicliche per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ e di $R_{k,nom}^-$

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 di cui ai seguenti sottoparagrafi.

3.6.1 Stima del numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,I}$

Il numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,I}$ risulta pari ad almeno 5 con un massimo incognito, funzione della probabilità che il provino resista ad un carico massimo inferiore a $R_{k,I}^+$ (vedi paragrafo 3.5.1).

3.6.2 Stima del numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,II}$

Il numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,II}$ risulta pari ad almeno 5 con un massimo incognito, funzione della probabilità che il provino resista ad un carico massimo inferiore a $R_{k,II}^+$ (vedi paragrafo 3.5.2).

3.6.3 Stima del numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,III}$

Il numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^+$ utilizzando il $c_{full,III}$ risulta pari ad almeno 5 con un massimo incognito, funzione della probabilità che il provino resista ad un carico massimo inferiore a $R_{k,III}^+$ (vedi paragrafo 3.5.3).

3.6.4 Stima del numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,I}$

Il numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,I}$ risulta pari ad almeno 5 con un massimo incognito, funzione della probabilità che il provino resista ad un carico massimo inferiore a $R_{k,I}^-$ (vedi paragrafo 3.5.4).

3.6.5 Stima del numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,II}$

Il numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,II}$ risulta pari ad almeno 5 con un massimo incognito, funzione della probabilità che il provino resista ad un carico massimo inferiore a $R_{k,II}^-$ (vedi paragrafo 3.5.5).

3.6.6 Stima del numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,III}$

Il numero di provini necessari per la valutazione di $R_{k,nom}^-$ utilizzando il $c_{full,III}$ risulta pari ad almeno 5 con un massimo incognito, funzione della probabilità che il provino resista ad un carico massimo inferiore a $R_{k,III}^-$ (vedi paragrafo 3.5.6).

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 (vedi Appendice). 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 trasverso.

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

Sono stati sottoposti a prova dispositivi di collegamento montante – trasverso del tipo nodo con piastra.

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

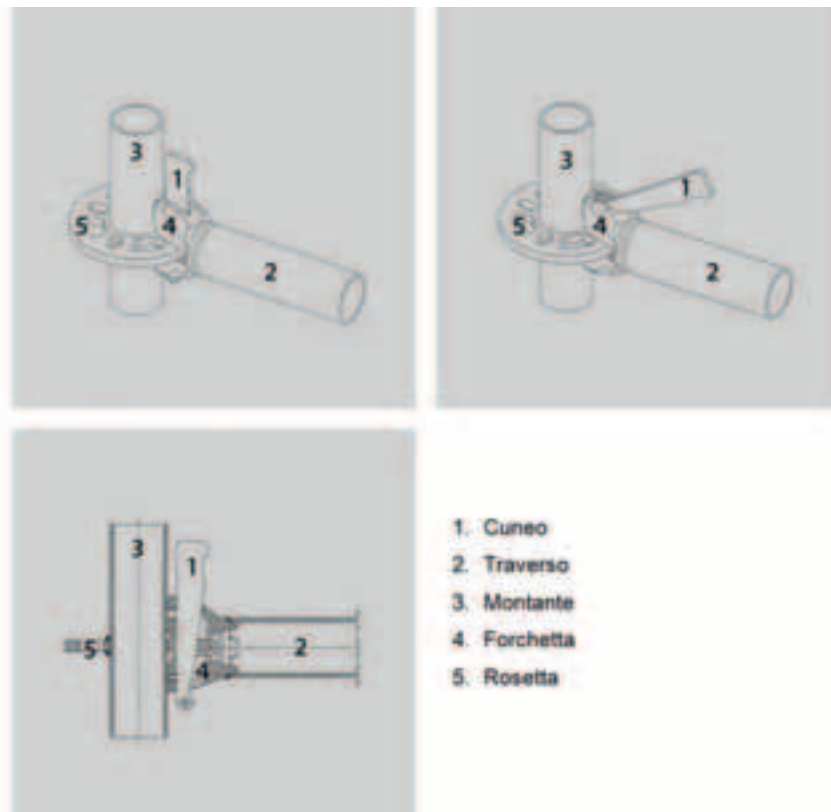


Figura 4-1 Geometria e nomenclatura degli elementi sottoposti a prova

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 monotone in controllo di spostamento, sia nel verso negativo che positivo.

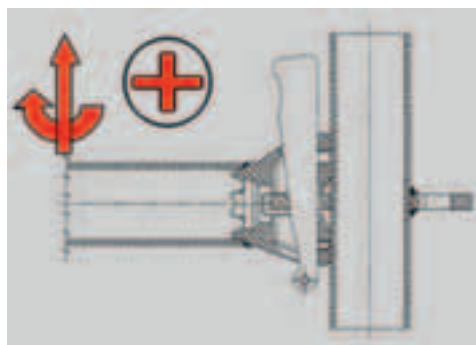


Figura 4-2 Convenzione dei segni per i carichi e gli spostamenti

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 nel verso positivo rispetto al verso negativo 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 mezzieria. 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).

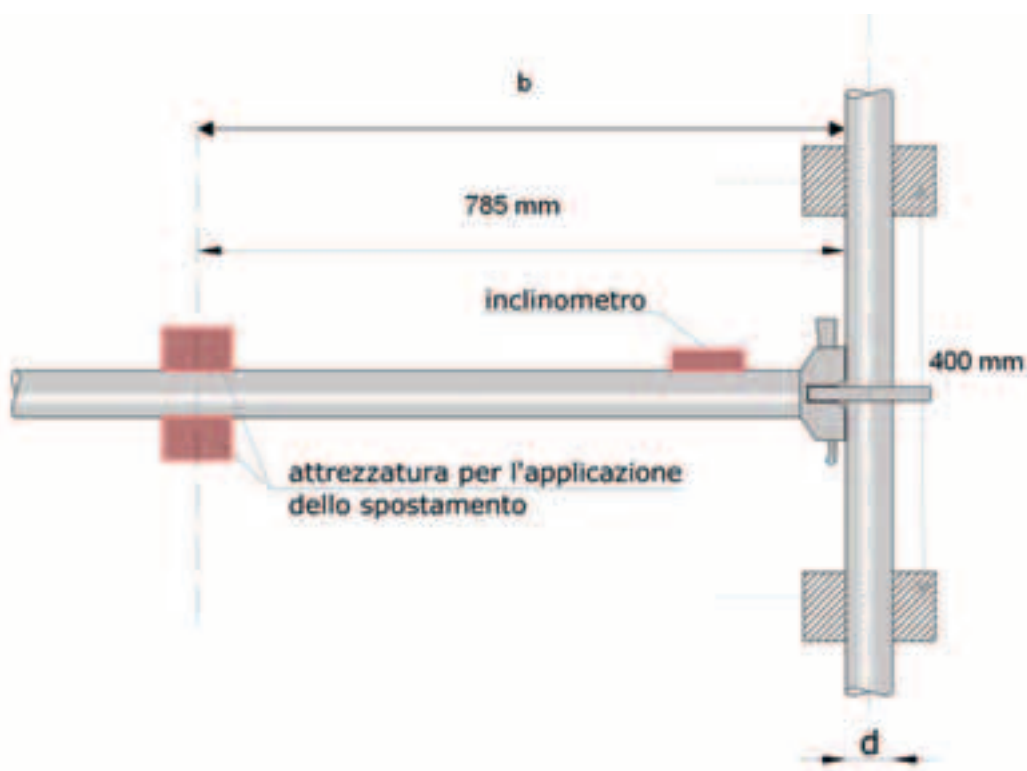


Figura 4.1-1 Schema di prova

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_f) al contatto con il traverso;
2. Inclinazione ($^\circ$) 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).

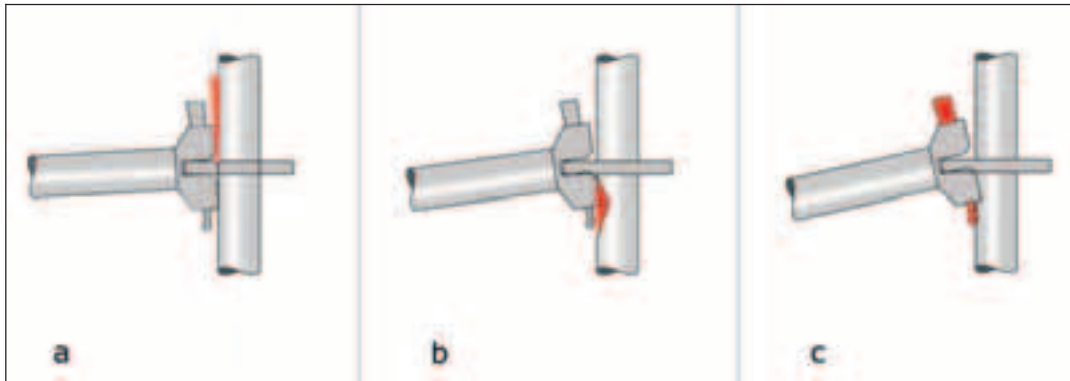


Figura 4.1-3 Schematizzazione degli eventi macroscopici rilevati ad occhio durante le prove con spostamento imposto negativo

- Formazione di aria al contatto tra montante e forchetta del traverso;
- Imbozzamento del montante al contatto con il traverso
- Contatto fra cuneo e montante

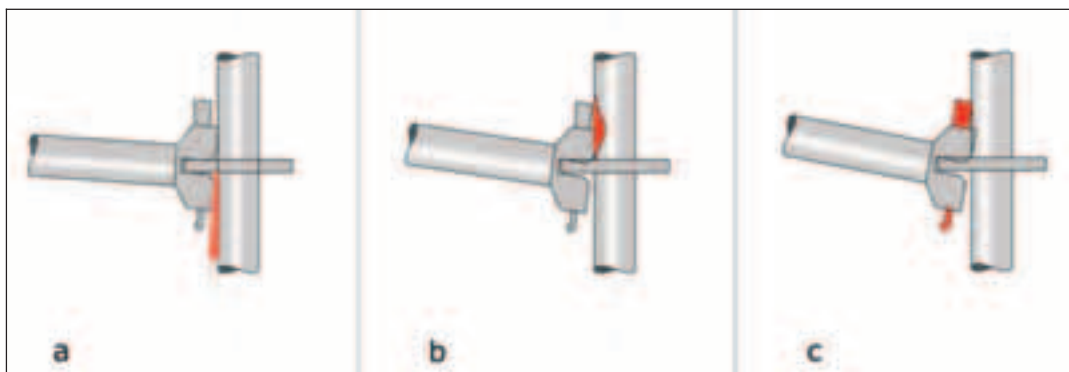


Figura 4.1-4 Schematizzazione degli eventi macroscopici rilevati ad occhio durante le prove con spostamento imposto positivo

- Formazione di aria al contatto tra montante e forchetta del traverso;
- Imbozzamento del montante al contatto con il traverso
- 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 della presente) 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.

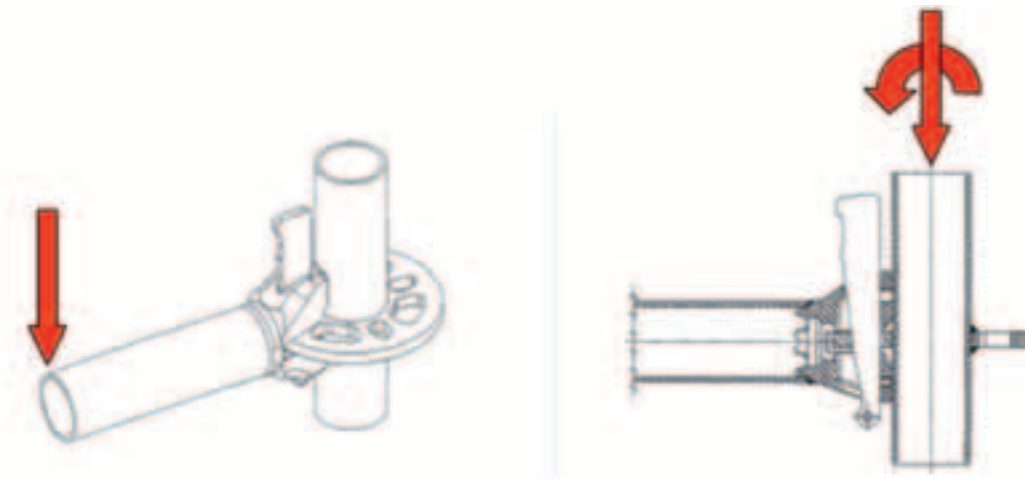


Figura 4.2.1-1 Schema di applicazione dello spostamento e azioni al nodo

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 $v = 10 \text{ mm/min}$

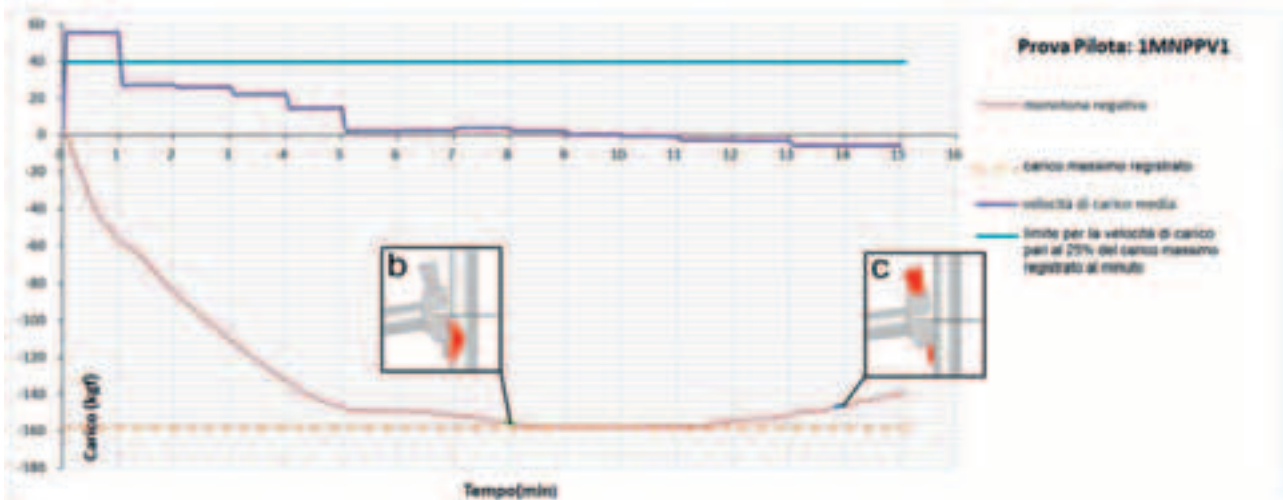


Figura 4.2.1.1-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min).
Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato.
Individuazione dei punti B e C corrispondenti al verificarsi degli eventi b e c descritti in figura 4.1-3.

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

$$v_{\max} = \frac{0,25 \cdot |F_{\max}|}{\text{min}} = 0,25 \cdot 158,12 \text{kg}_f / \text{min} = 39,53 \text{kg}_f / \text{min}$$
- 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.

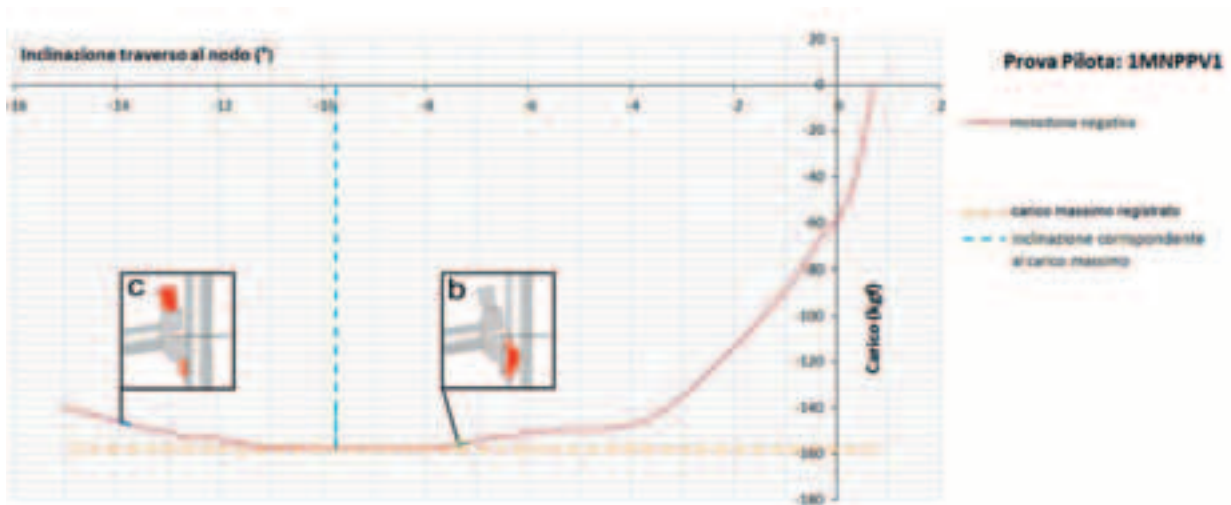


Figura 4.2.1.1-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo.
Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente.
Individuazione dei punti B e C corrispondenti al verificarsi degli eventi b e c descritti in figura 4.1-3

4.2.1.2 Prova 1MNPPV2

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

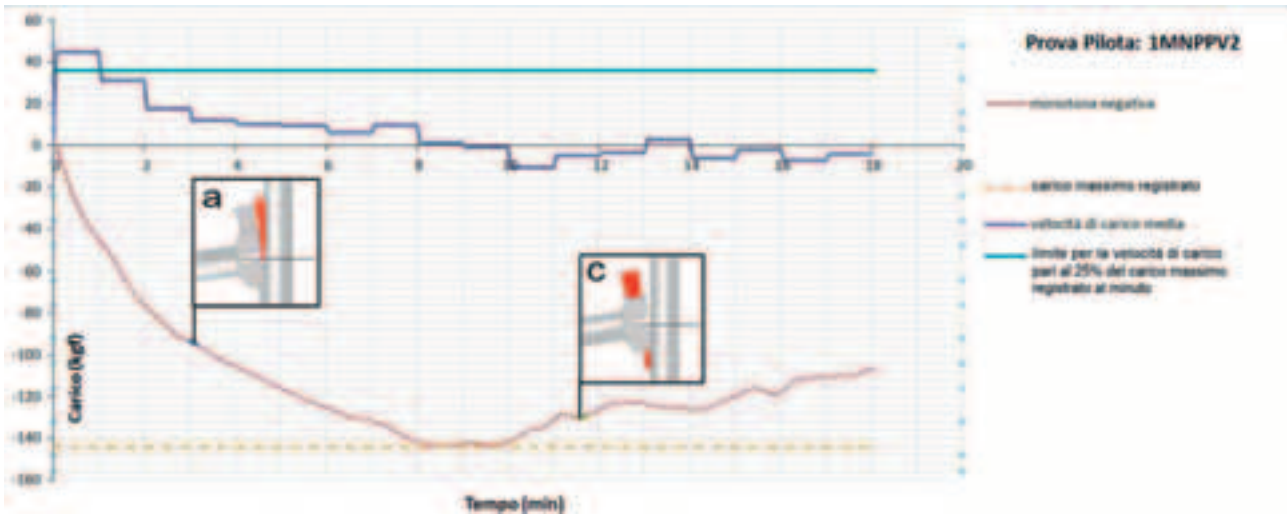


Figura 4.2.1.2-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min).
Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato.
Individuazione dei punti A e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a e c descritti in figura 4.1-3.

- Massimo carico registrato: $|F_{\max}| = |-144,03|\text{kg}_f = 144,03\text{kg}_f$
- Limite per la velocità di carico: $v_{\max} = \frac{0,25 \cdot |F_{\max}|}{\text{min}} = \frac{0,25 \cdot 144,03\text{kg}_f}{\text{min}} = 36,01\text{kg}_f / \text{min}$
- 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.

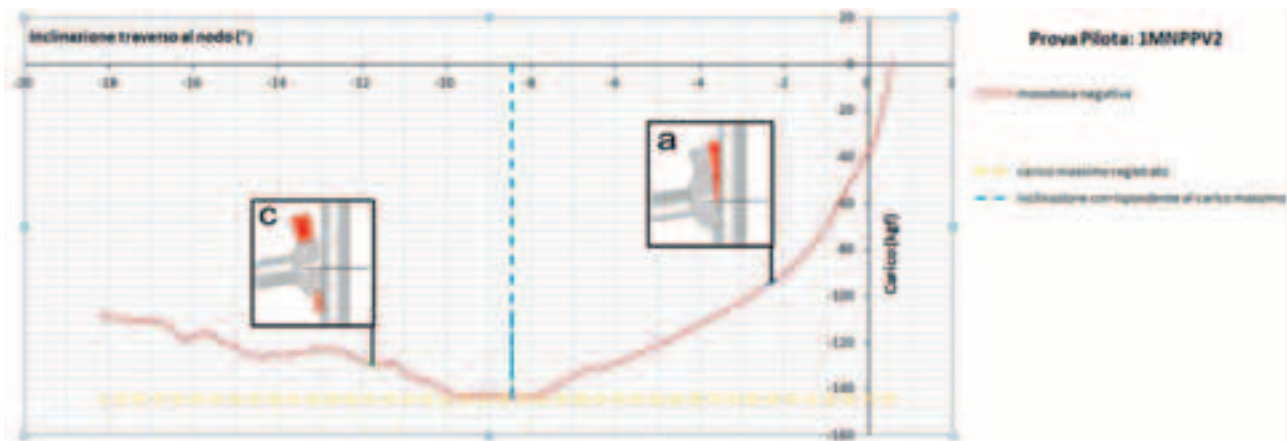


Figura 4.2.1.2-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo.
Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente.
Individuazione dei punti A e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a e c descritti in figura 4.1-3.

4.2.1.3 Prova 1MNPPV3 = 1MNPPS1

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

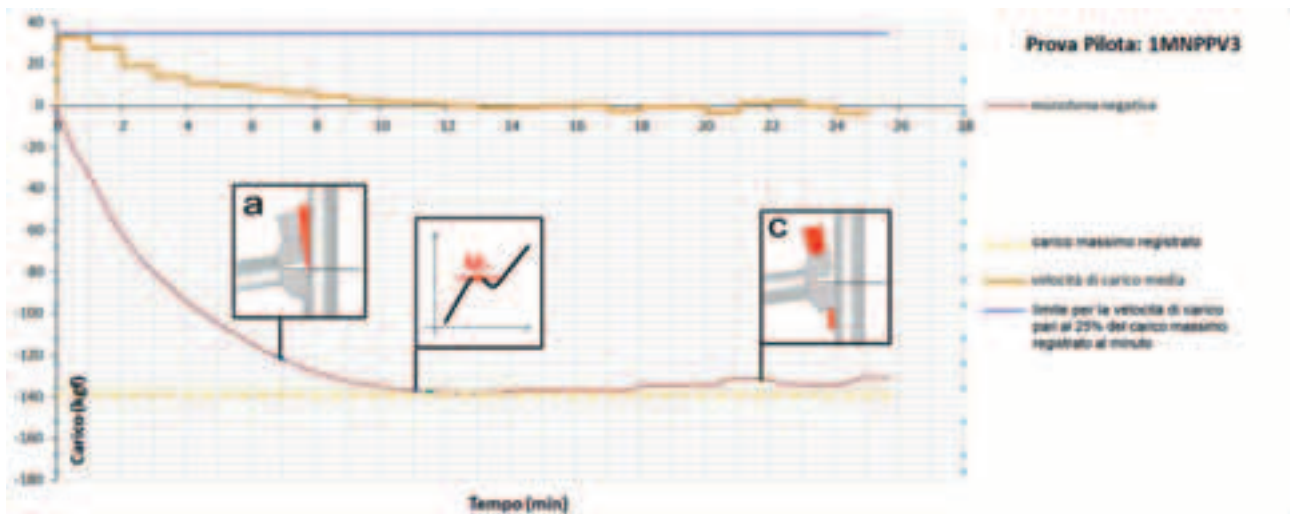


Figura 4.2.1.3-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min).

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.

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 $v=5\text{mm/min}$.

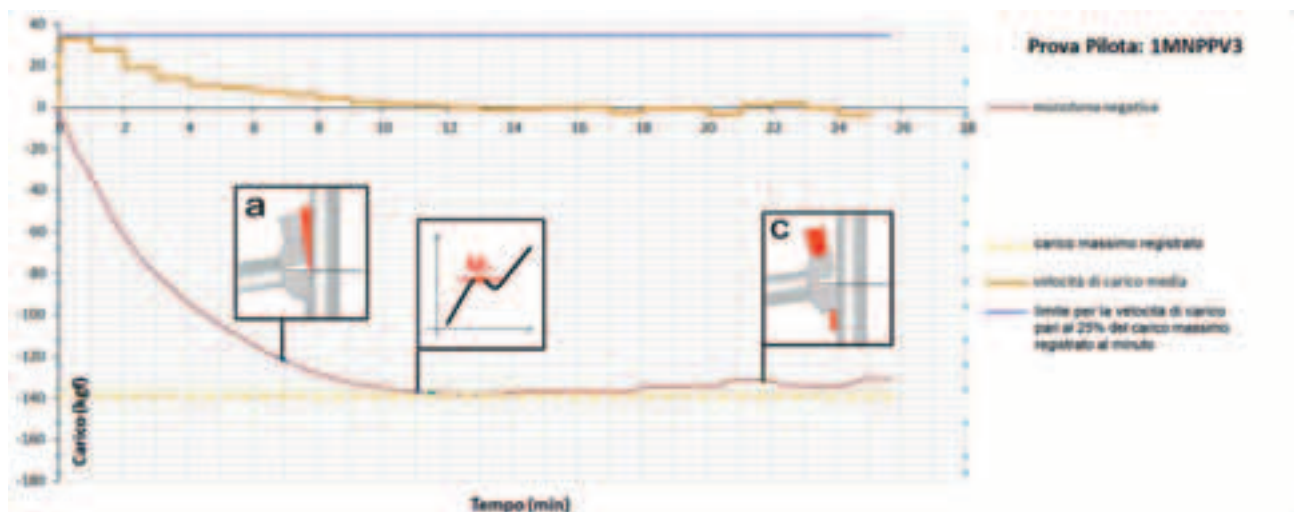


Figura 4.2.1.3-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo.

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 $v = 5 \text{ mm/min}$

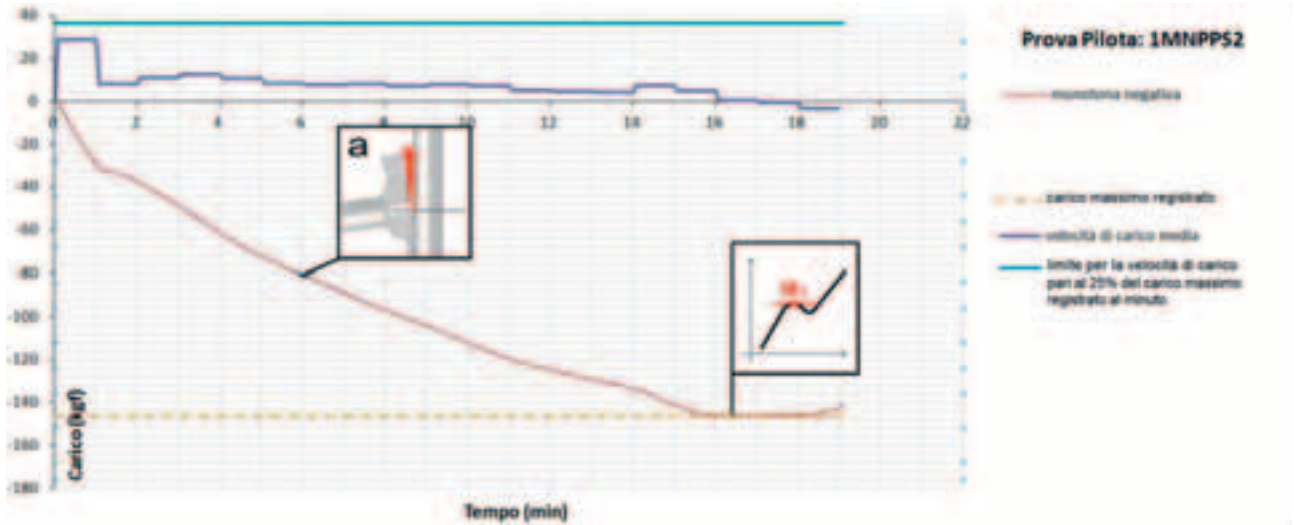


Figura 4.2.1.4-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min).
 Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato.
 Individuazione del punto A corrispondente al verificarsi dell'evento a descritto in figura 4.1-3.
 Individuazione del punto M_L corrispondente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

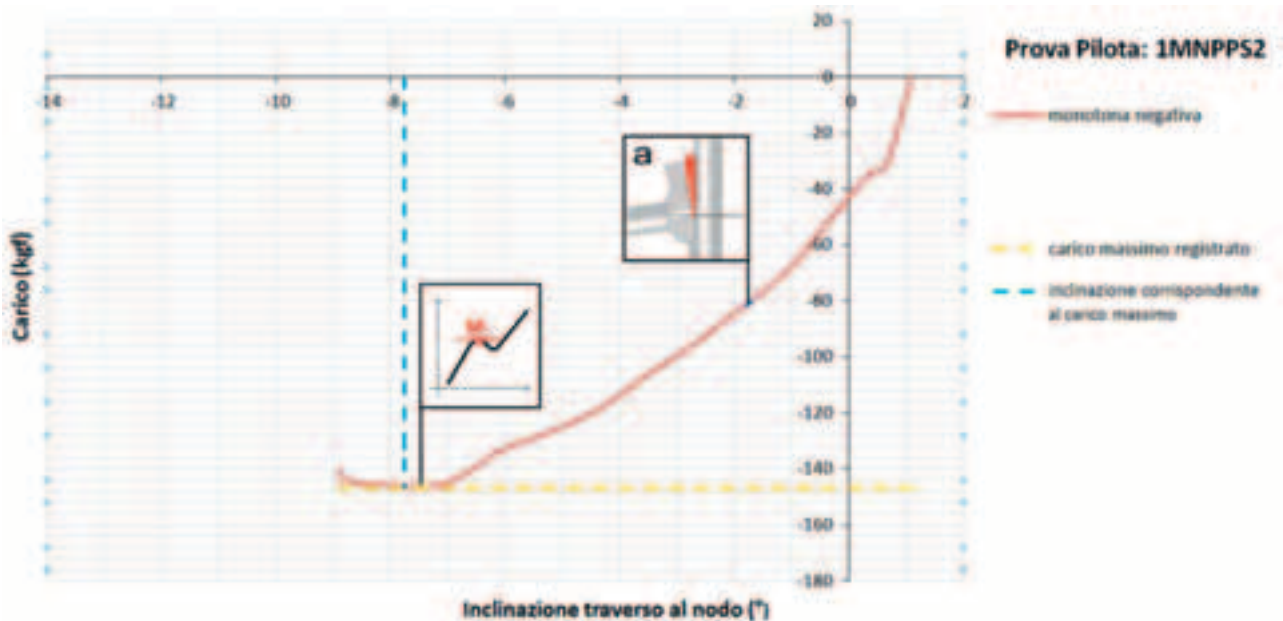


Figura 4.2.1.4-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo.
 Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente.
 Individuazione del punto A corrispondente al verificarsi dell'evento a descritto in figura 4.1-3.
 Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

4.2.1.5 Prova 1MNPPS3

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

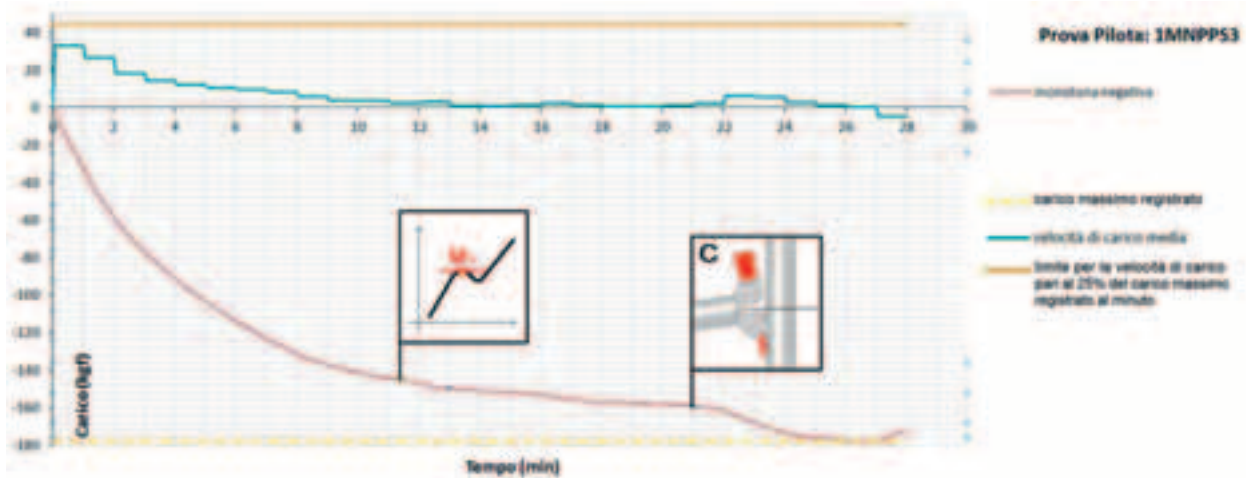


Figura 4.2.1.5-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min).

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.

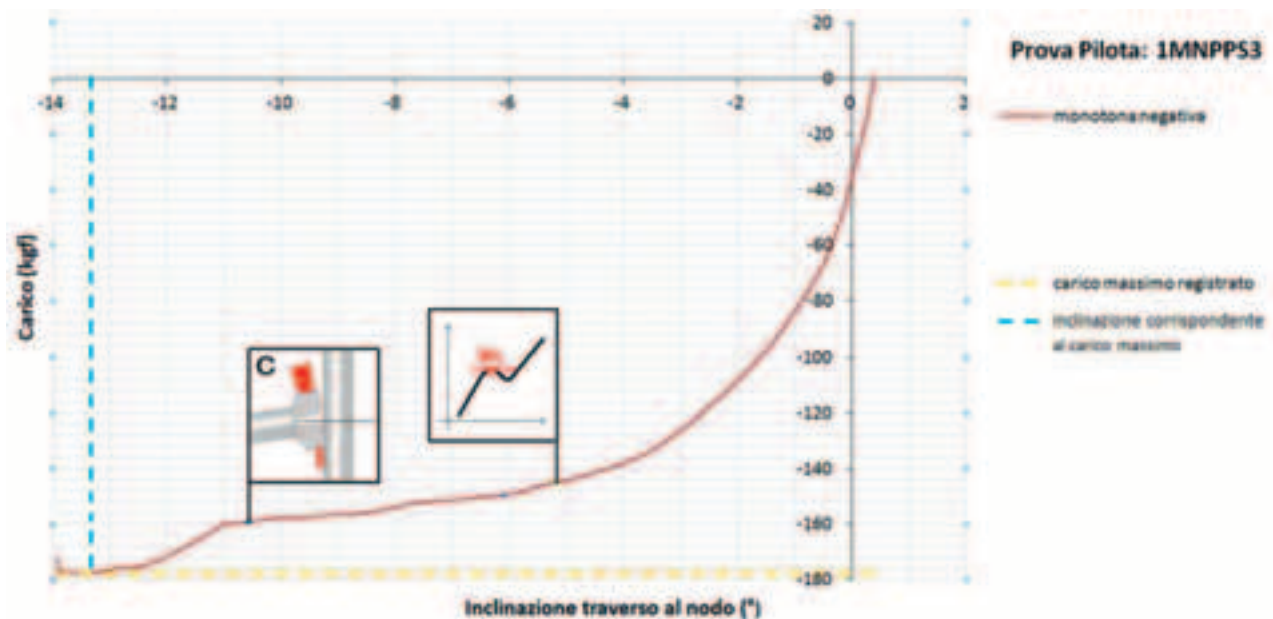


Figura 4.2.1.5-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo.

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

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

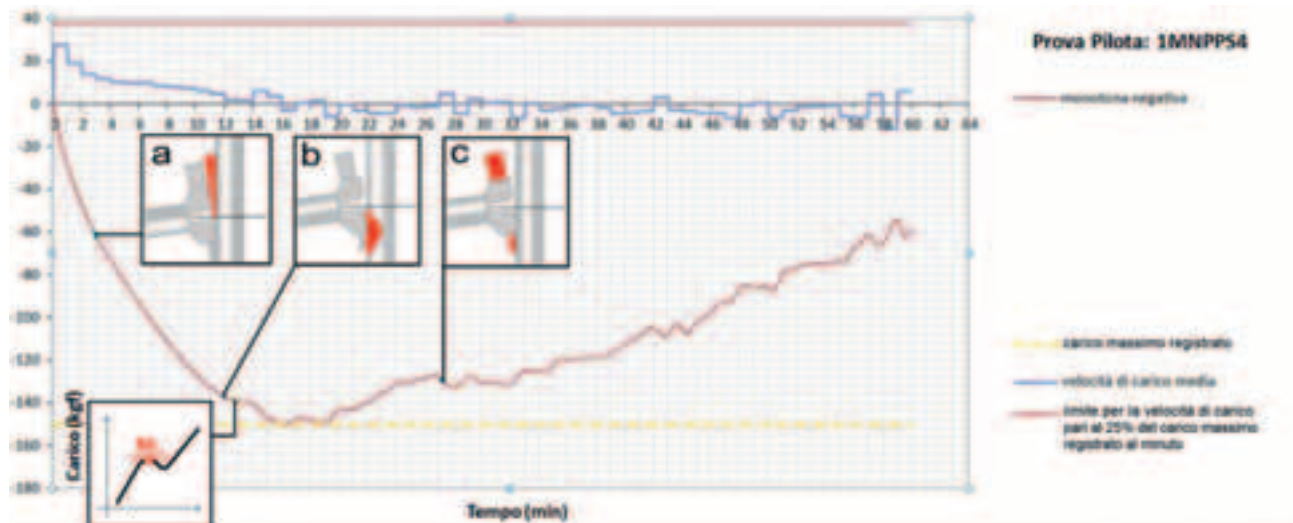


Figura 4.2.1.7-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kgf/min).
Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato.
Individuazione dei punti A, B e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a, b e c descritti in figura 4.1-3.
Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

- Massimo carico registrato: $|F_{\max}| = |-150,05| \text{kg}_f = 150,05 \text{kg}_f$
- Limite per la velocità di carico: $v_{\max} = \frac{0,25 \cdot |F_{\max}|}{\text{min}} = 0,25 \cdot 150,05 \text{kg}_f / \text{min} = 37,51 \text{kg}_f / \text{min}$
- Massima velocità di carico durante la prova: $\max(v_c) = 27,81 \text{kg}_f / \text{min}$ nel primo minuto
- Verifica della velocità di carico: $\max(v_c) \leq v_{\max}$ positiva

Prova valida.

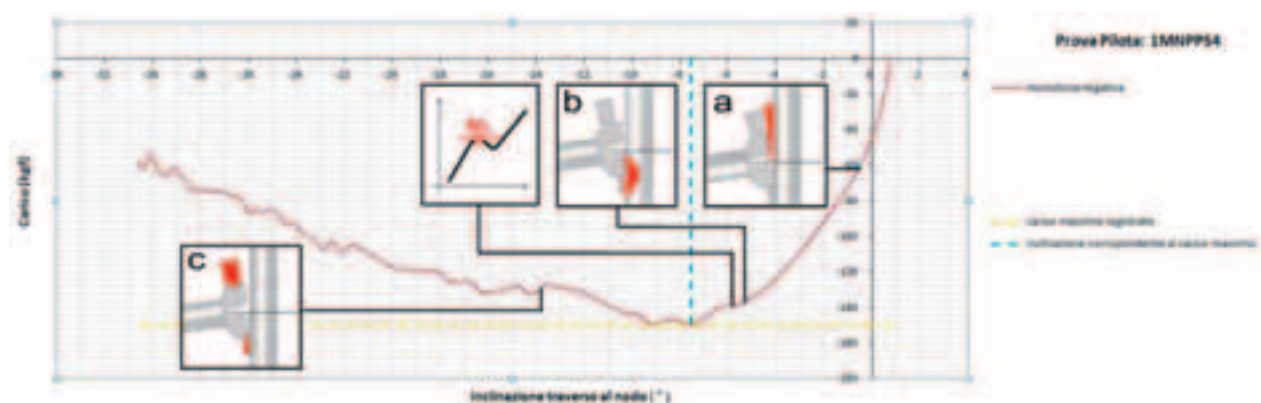


Figura 4.2.1.7-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo.
Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente.
Individuazione dei punti A, B e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a, b e c descritti in figura 4.1-3.
Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.



Figura 4.2.1.7-3: Inizio prova



Figura 4.2.1.7-4: Deformazione al 6° minuto di prova



Figura 4.2.1.7-5: Deformazione al 10° minuto di prova

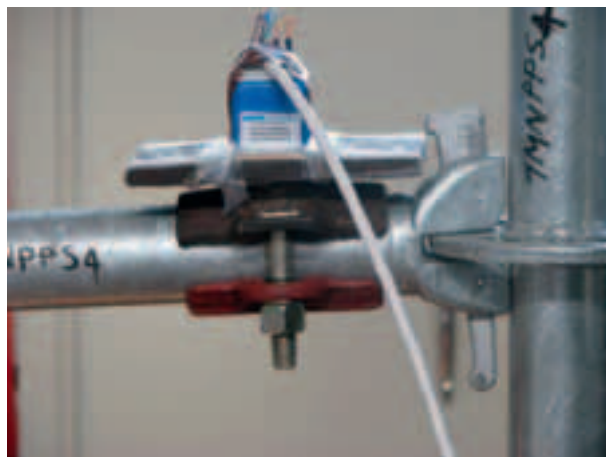


Figura 4.2.1.7-6: Imbozzamento del montante (evento b)



Figura 4.2.1.7-7: Contatto cuneo montante (evento c)



Figura 4.2.1.7-8: Deformazione del sistema oltre il contatto cuneo-montante



Figura 4.2.1.7-9: Deformazione del sistema oltre il contatto cuneo-montante



Figura 4.2.1.7-10: Deformazione del sistema oltre il contatto cuneo-montante



Figura 4.2.1.7-11: Deformazione del sistema oltre il contatto cuneo-montante



Figura 4.2.1.7-12: Deformazione del sistema oltre il contatto cuneo-montante



Figura 4.2.1.7-13: Deformazione del sistema oltre il contatto cuneo-montante



Figura 4.2.1.7-13: Fine prova



Figura 4.2.1.7-14: Fine prova – dettaglio 1



Figura 4.2.1.7-15: Fine prova – dettaglio 2

4.2.1.8 Prova 1MNPPS5

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

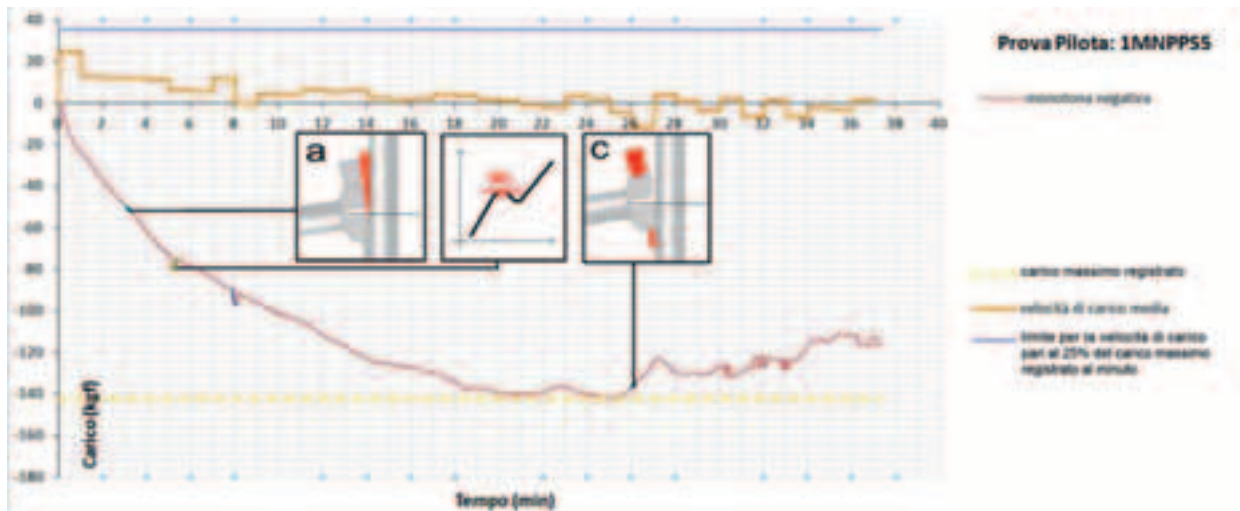


Figura 4.2.1.8-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kgf/min).

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: $|F_{\max}| = |-14\,185\text{kg}_f| = 14\,185\text{kg}_f$
- Limite per la velocità di carico: $v_{\max} = \frac{0.25 \cdot |F_{\max}|}{\text{min}} = \frac{0.25 \cdot 14\,185\text{kg}_f}{\text{min}} = 35,46\text{kg}_f / \text{min}$
- Massima velocità di carico durante la prova: $\max(v_c) = 24,72\text{kg}_f / \text{min}$ nel primo minuto
- Verifica della velocità di carico: $\max(v_c) \leq v_{\max}$ positiva.

Prova valida.

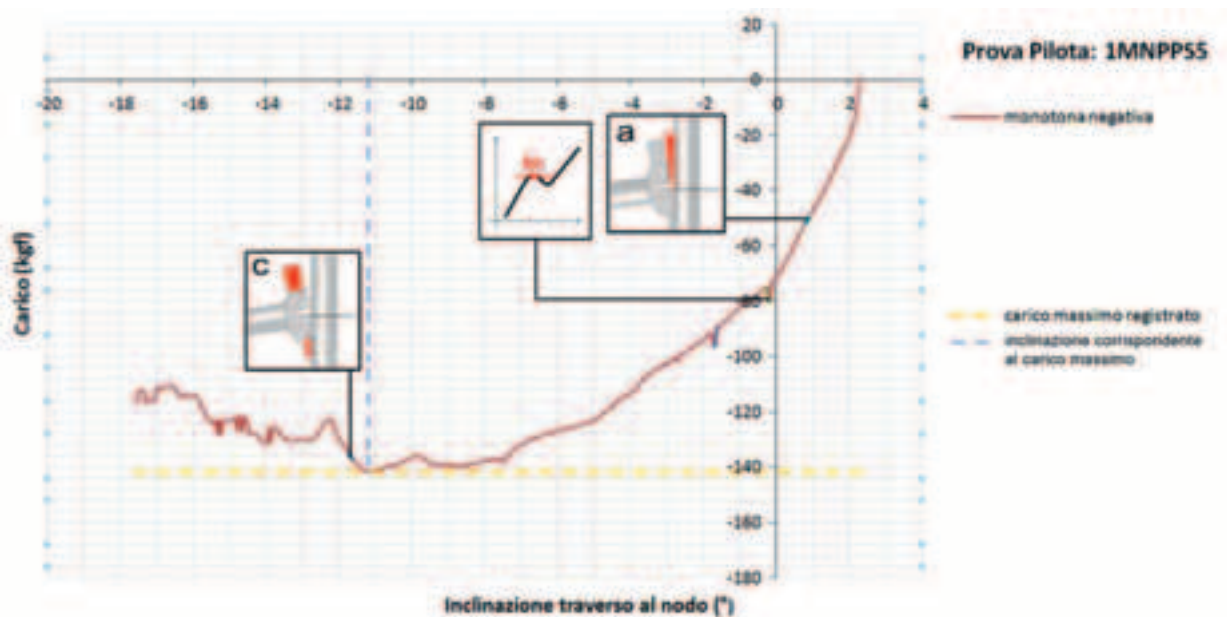


Figura 4.2.1.8-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo.

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.



Figura 4.2.1.8-3: Inizio prova



Figura 4.2.1.8-4: Formarsi di aria al contatto tra il montante e la forchetta del traverso (evento a)



Figura 4.2.1.8-5: Imbozzamento del montante (evento b)



Figura 4.2.1.8-6: Contatto cuneo montante (evento c)



Figura 4.2.1.8-7: Fine prova

4.2.1.9 Prova 1MNPPS6

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

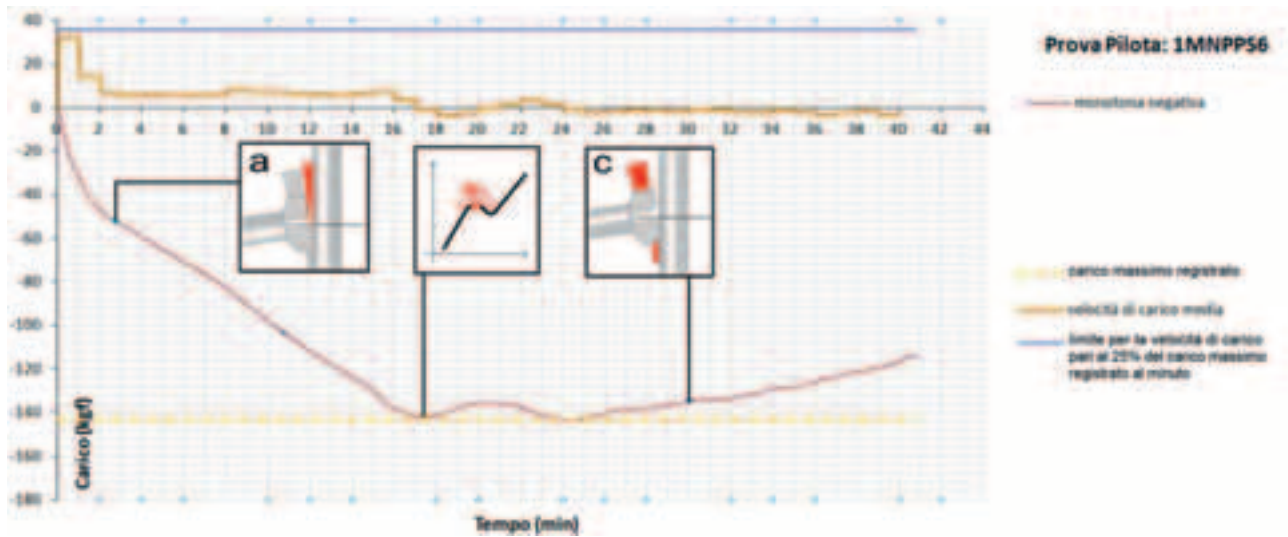


Figura 4.2.1.9-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min).
 Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato.
 Individuazione dei punti A e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a e c descritti in figura 4.1-3.
 Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

- Massimo carico registrato: $|F_{\max}| = |-143,08| \text{kg}_f = 143,08 \text{kg}_f$
- Limite per la velocità di carico: $v_{\max} = \frac{0,25 \cdot |F_{\max}|}{\text{min}} = \frac{0,25 \cdot 143,08 \text{kg}_f}{\text{min}} = 35,77 \text{kg}_f / \text{min}$
- Massima velocità di carico durante la prova: $\max(v_c) = 32,33 \text{kg}_f / \text{min}$ nel primo minuto
- Verifica della velocità di carico: $\max(v_c) \leq v_{\max}$ positiva.

Prova valida.

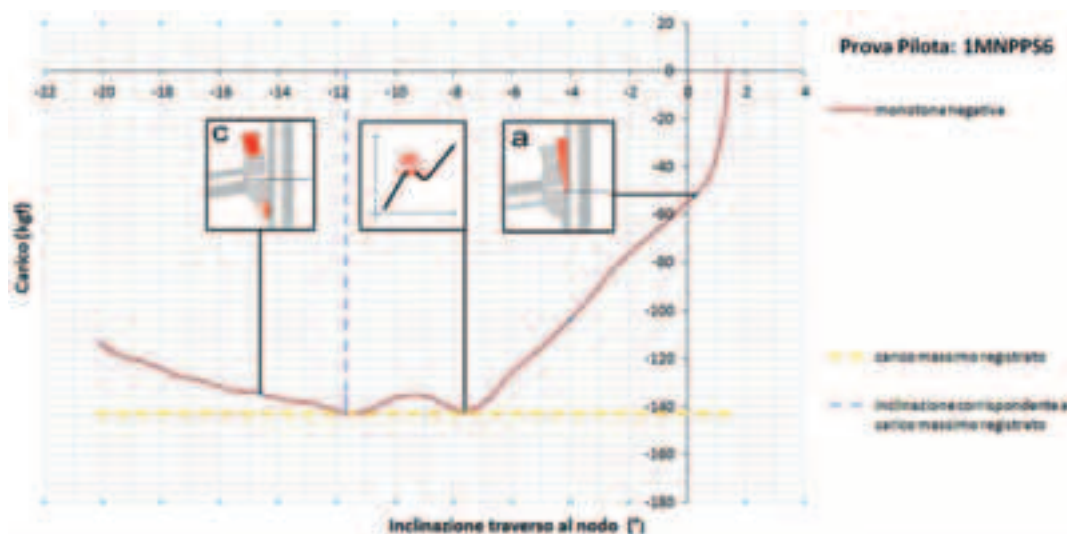


Figura 4.2.1.9-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo.
 Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente.
 Individuazione dei punti B e C corrispondenti al verificarsi degli eventi b e c descritti in figura 4.1-3.
 Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.



Figura 4.2.1.9-3: Inizio prova



Figura 4.2.1.9-4: Inizio prova - dettaglio



Figura 4.2.1.9-5: Deformazione al 10° minuto



Figura 4.2.1.9-6: Deformazione al 18° minuto (primo massimo locale M_L)



Figura 4.2.1.9-7: Deformazione al 18° minuto (primo massimo locale M_L) - dettaglio



Figura 4.2.1.9-8: Contatto cuneo montante (evento c)

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).

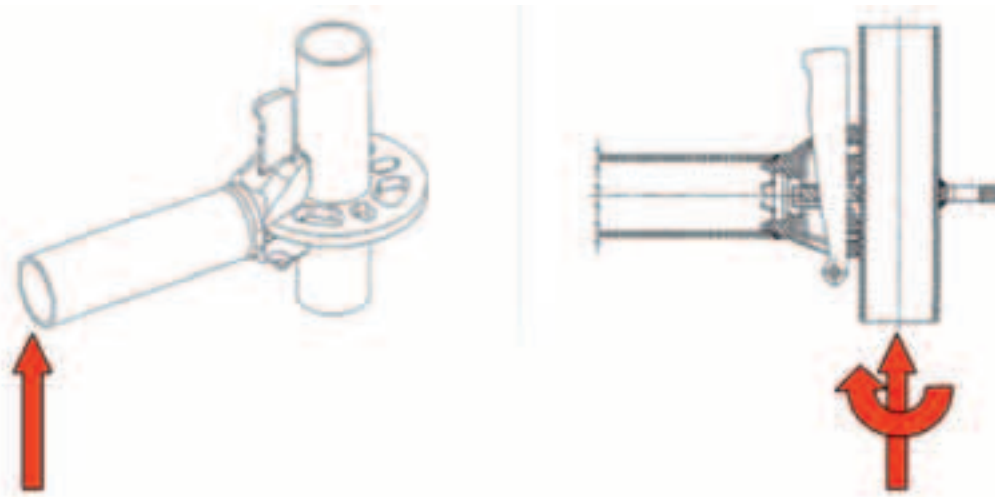


Figura 4.2.2-1 Schema di applicazione dello spostamento e azioni al nodo

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 1MPPP1

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

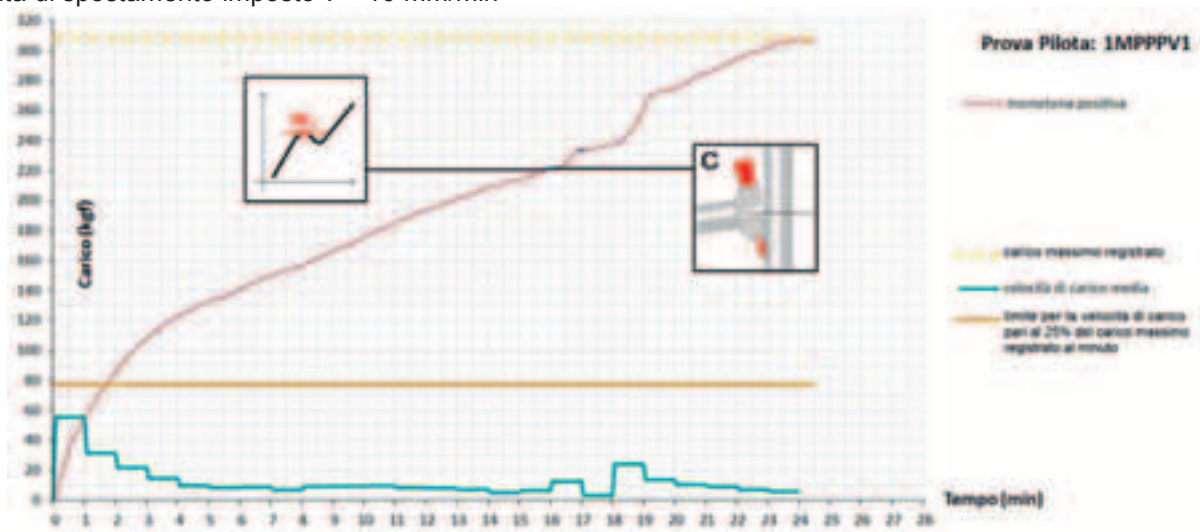


Figura 4.2.2.1-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min).
 Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato.
 Individuazione del punto C corrispondente al verificarsi dell'evento c descritto in figura 4.1-4.
 Individuazione del punto M_L corrispondente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

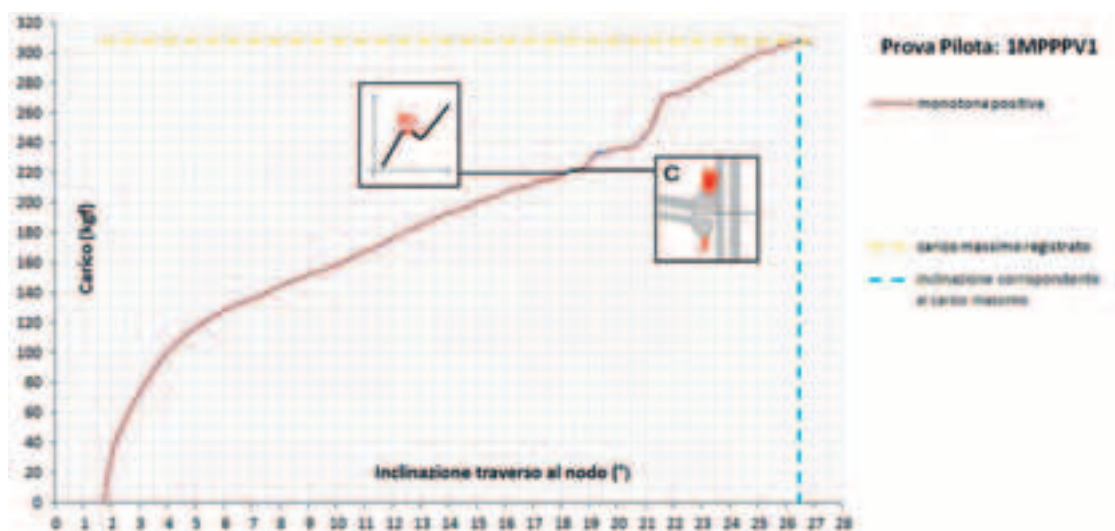


Figura 4.2.2.1-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo.
 Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente.
 Individuazione del punto C corrispondente al verificarsi dell'evento c descritto in figura 4.1-4.
 Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.



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 1MPPV2 = 1MPPS1

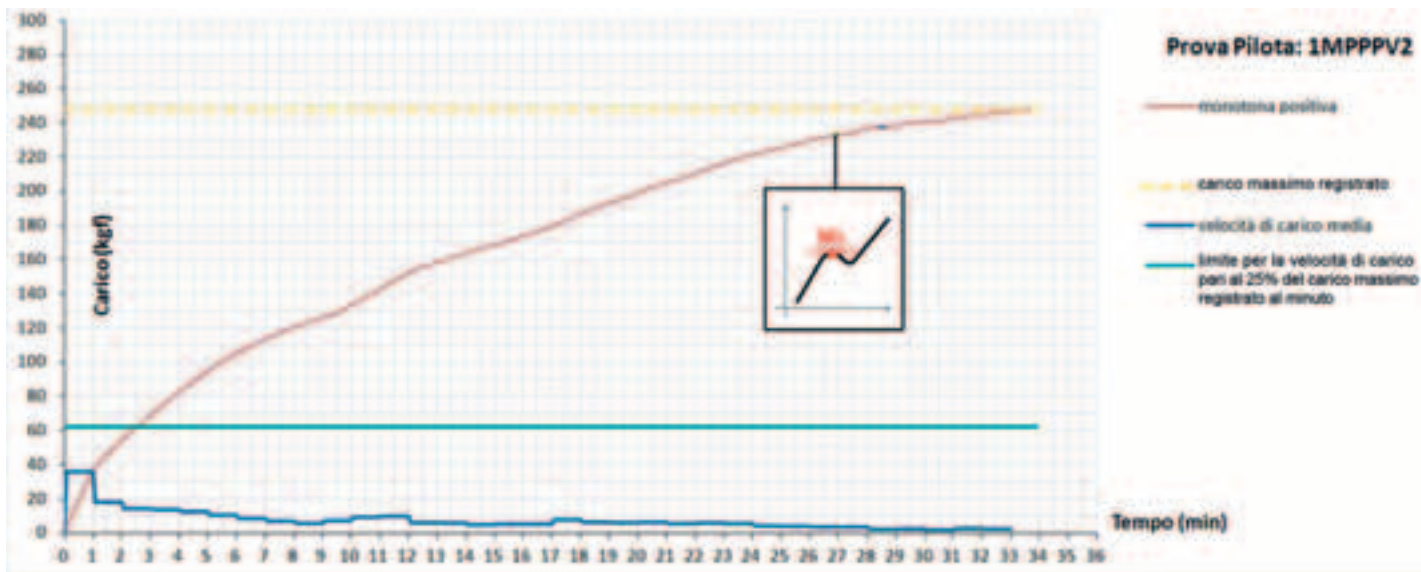
Velocità di spostamento imposto $v = 5 \text{ mm/min}$ 

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

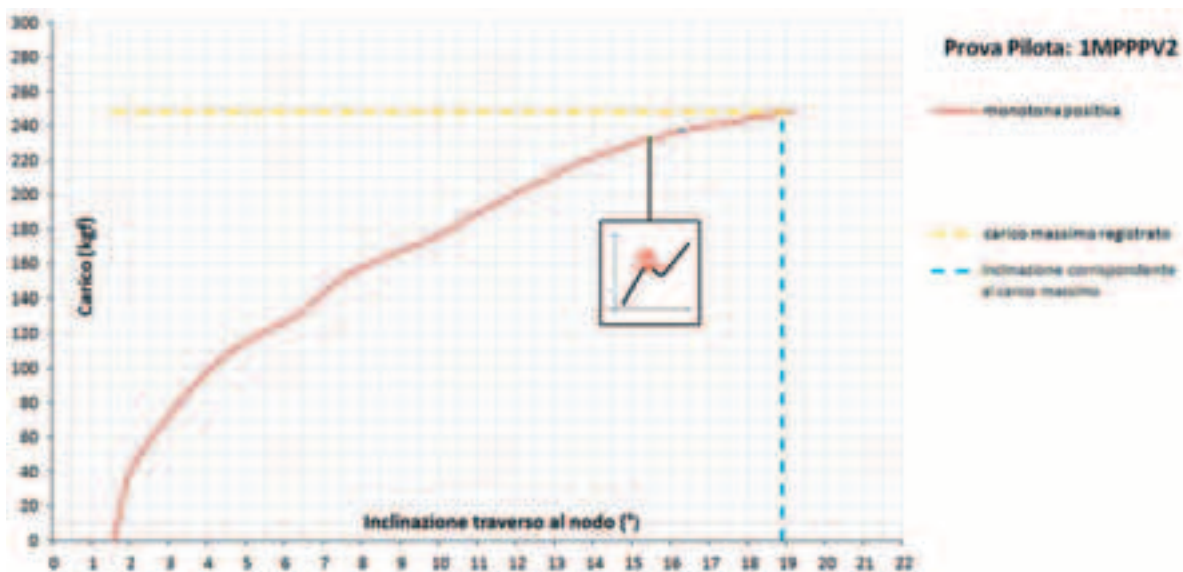
Prova valida. Non ha toccato il cuneo

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

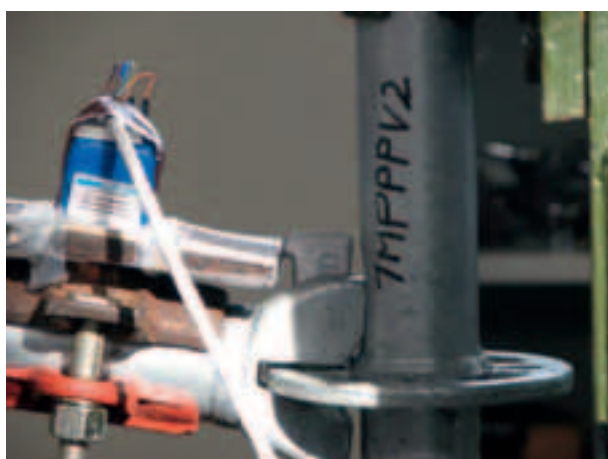


Figura 4.2.2.2-5: Deformazione al 25° minuto



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 $v = 5 \text{ mm/min}$

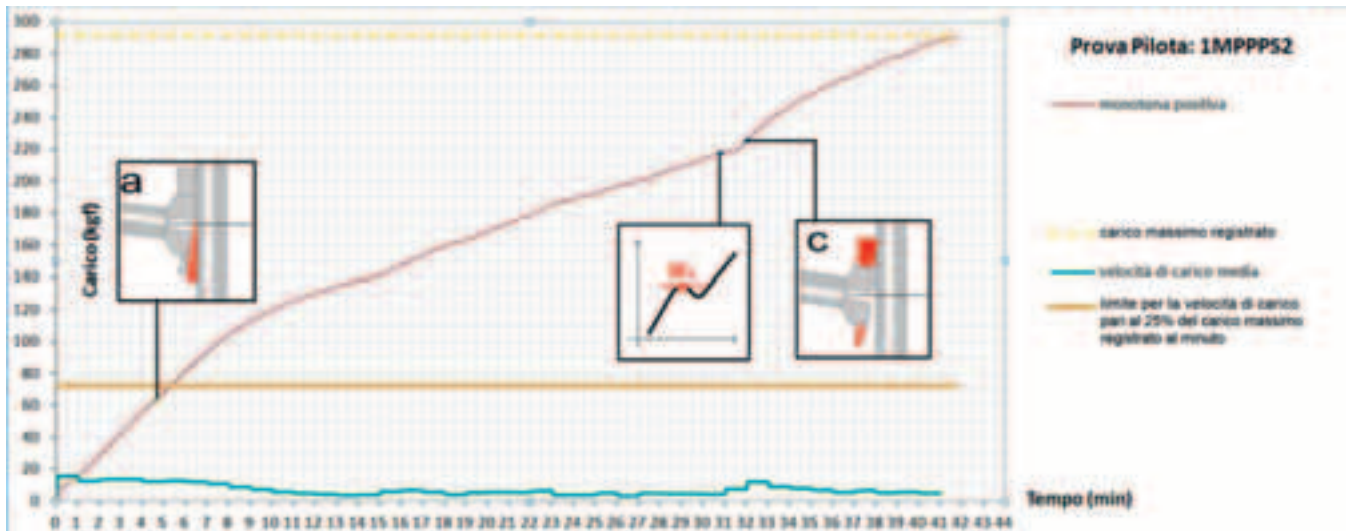


Figura 4.2.2.3-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min).
 Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato.
 Individuazione dei punti A e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a e c descritti in figura 4.1-4.
 Individuazione del punto M_L corrispondente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

- Massimo carico registrato: $|F_{\max}| = |+ 291,05| = 291,05 \text{ kg}_f$
- Limite per la velocità di carico: $v_{\max} = \frac{0,25 \cdot |F_{\max}|}{\text{min}} = \frac{0,25 \cdot 291,05 \text{ kg}_f}{\text{min}} = 72,76 \text{ kg}_f / \text{min}$
- 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.

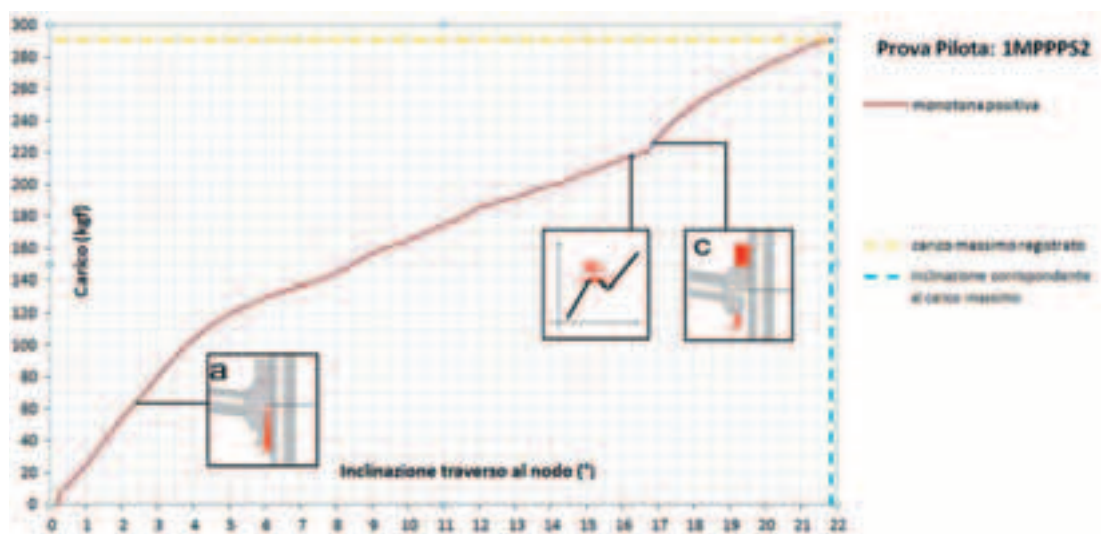


Figura 4.2.2.3-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo.
 Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente.
 Individuazione dei punti A e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a e c descritti in figura 4.1-4.
 Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della 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 $v = 5 \text{ mm/min}$

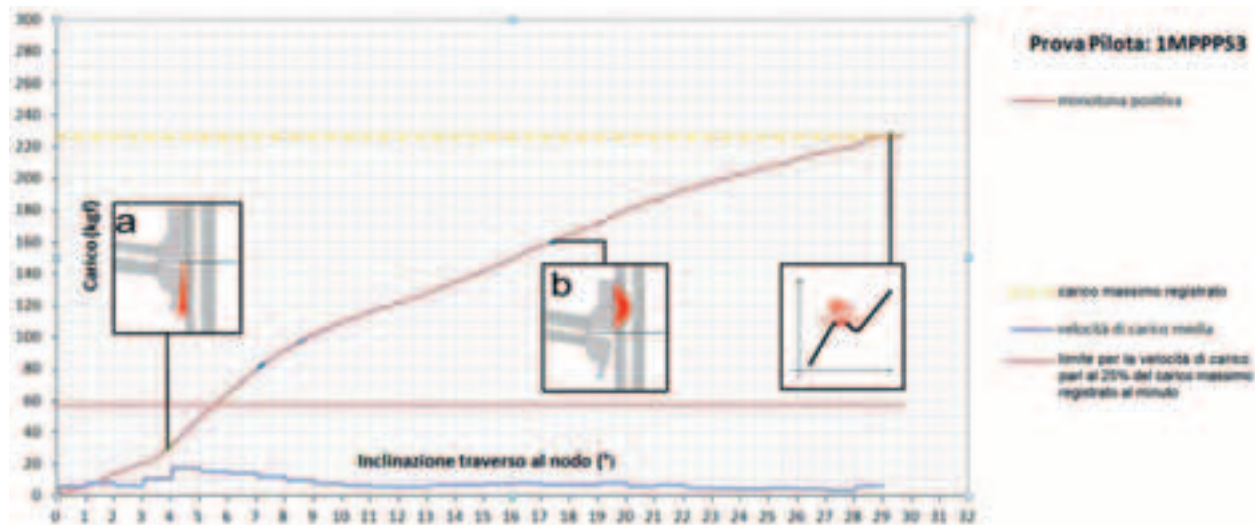


Figura 4.2.2.4-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min).
 Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato.
 Individuazione dei punti A e B corrispondenti al verificarsi degli eventi a e b descritti in figura 4.1-4.
 Individuazione del punto M_L corrispondente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

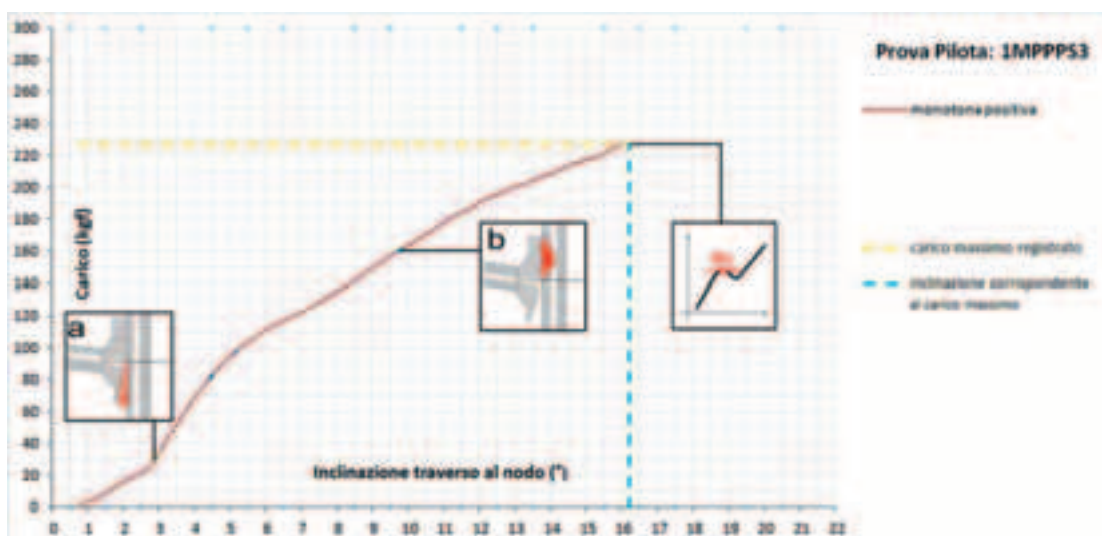


Figura 4.2.2.4-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo.
 Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente.
 Individuazione dei punti A e B corrispondenti al verificarsi degli eventi a e b descritti in figura 4.1-4.
 Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della 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 ($F=233 \text{ kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = 15,48^\circ$);
- 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 ($F=218 \text{ kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = 16,27^\circ$);
- 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 ($F=227,23 \text{ kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = 16,18^\circ$);
- la prova viene interrotta al verificarsi del primo massimo.

Le prove 1MPPP2 e 1MPPPS3 sono state interrotte prima del verificarsi del contatto del cuneo.

Le prove 1MPPP1 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

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

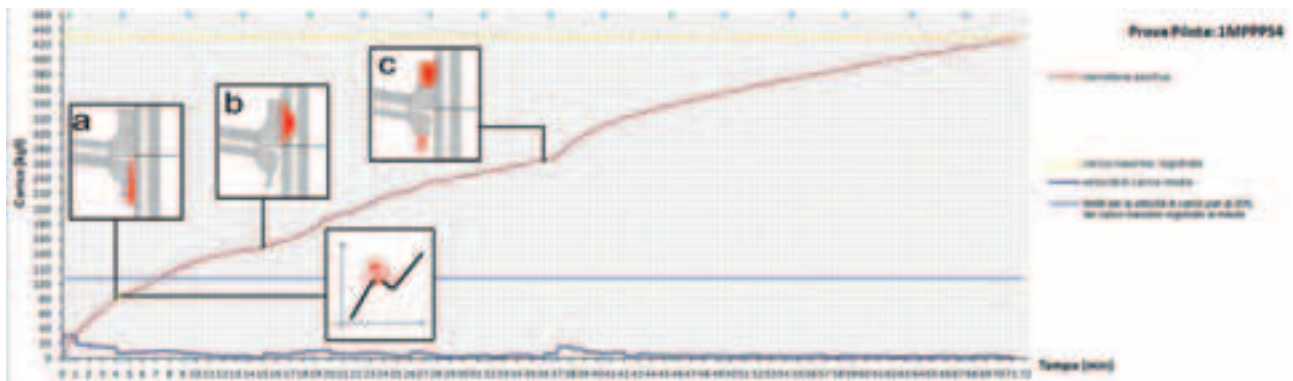


Figura 4.2.2.6-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg/min).

Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato.

Individuazione dei punti A, B e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a, b e c descritti in figura 4.1-4. Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

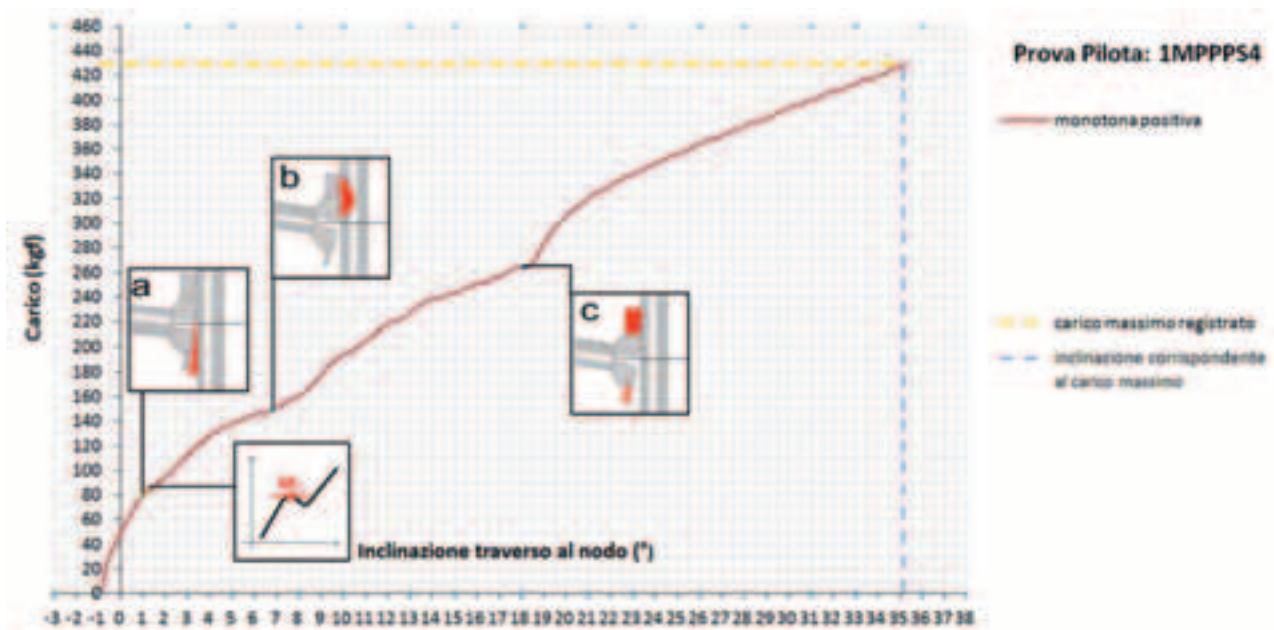


Figura 4.2.2.6-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo.

Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente.

Individuazione dei punti A, B e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a, b e c descritti in figura 4.1-4. Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.



Figura 4.2.2.6-3: Inizio prova



Figura 4.2.2.6-4: Formarsi di aria al contatto tra il montante e la forchetta del traverso (evento a)



Figura 4.2.2.6-5: Deformazione al 11° minuto di prova



Figura 4.2.2.6-6: Deformazione al 14° minuto di prova



Figura 4.2.2.6-7: Deformazione al 19° minuto di prova



Figura 4.2.2.6-8: Deformazione al 36° minuto di prova



Figura 4.2.2.6-9: Deformazione al 38° minuto di prova



Figura 4.2.2.6-10: Deformazione al 44° minuto di prova



Figura 4.2.2.6-2: Deformazione al 47° minuto di prova



Figura 4.2.2.6-3: Deformazione al 57° minuto di prova



Figura 4.2.2.6-4: Deformazione al 60° minuto di prova



Figura 4.2.2.6-5: Deformazione al 63° minuto di prova



Figura 4.2.2.6-6: Fine prova

4.2.2.7 Prova 1MPPPS5

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

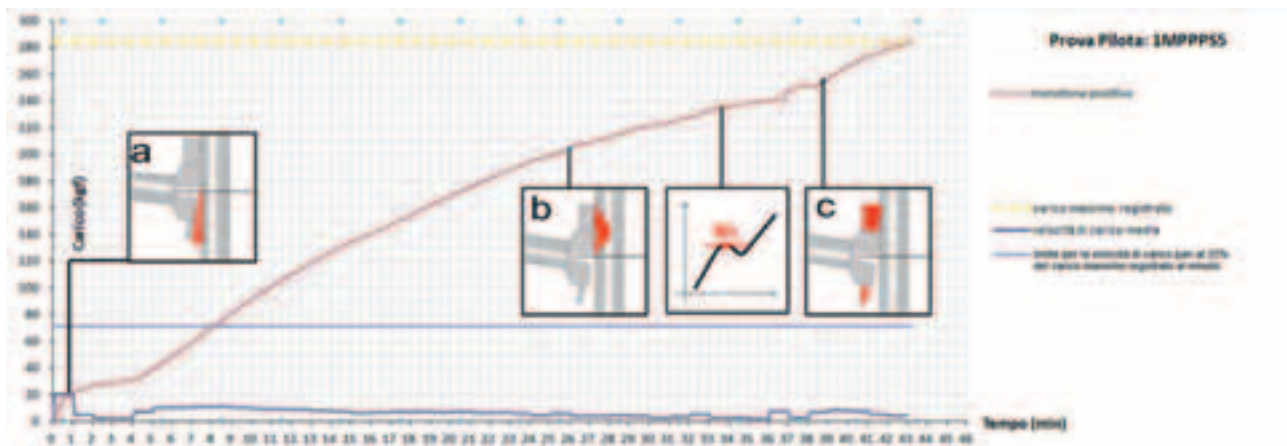


Figura 4.2.2.7-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg/min).
 Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato.
 Individuazione dei punti A, B e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a, b e c descritti in figura 4.1-4.
 Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

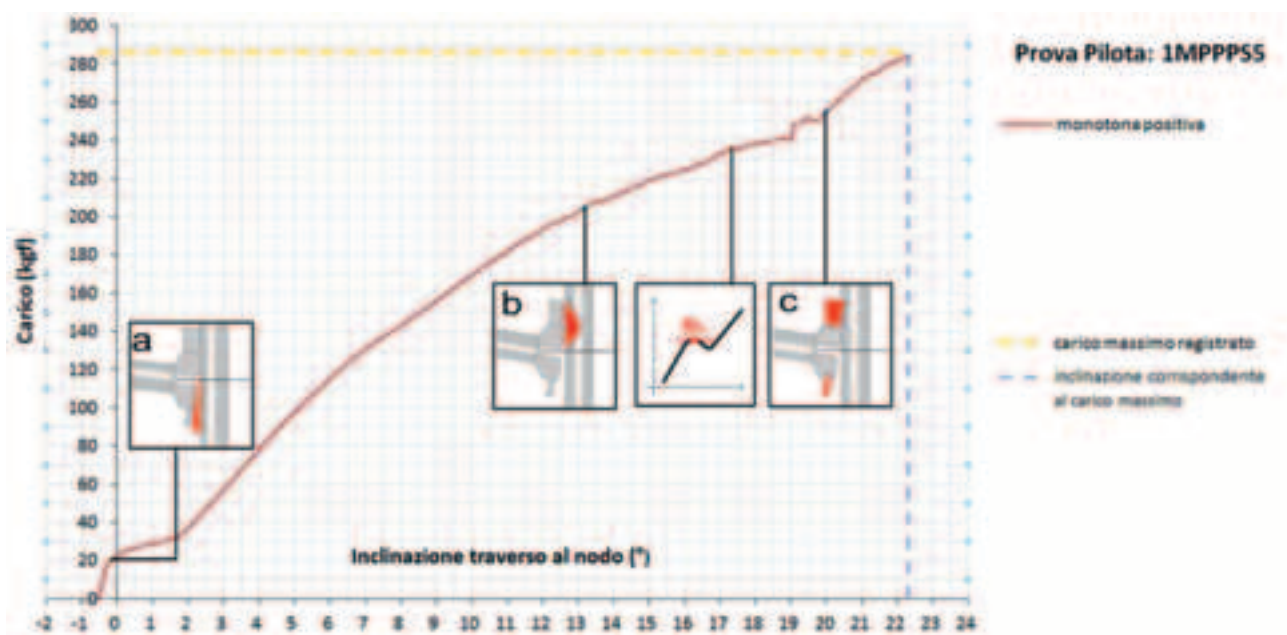


Figura 4.2.2.7-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo.
 Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente.
 Individuazione dei punti A, B e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a, b e c descritti in figura 4.1-4.
 Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.



Figura 4.2.2.7-3: Inizio prova



Figura 4.2.2.7-4: Deformazione al 10° minuto di prova



Figura 4.2.2.7-5: Deformazione al 13° minuto di prova



Figura 4.2.2.7-6: Deformazione al 30° minuto di prova



Figura 4.2.2.7-7: Deformazione al 38° minuto di prova (evento c)

4.2.2.8 Prova 1MPPPS6

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

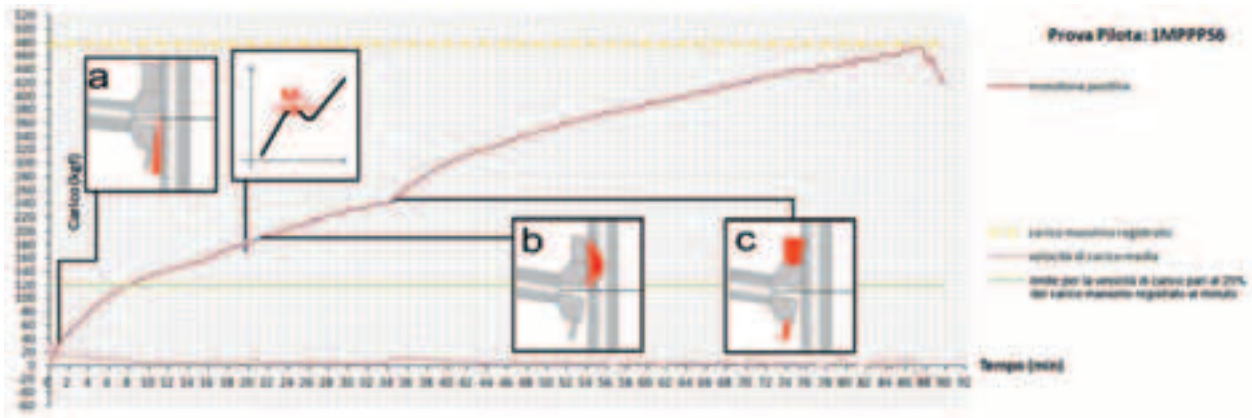


Figura 4.2.2.8-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg/min).

Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato.

Individuazione dei punti A, B e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a, b e c descritti in figura 4.1-4.

Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

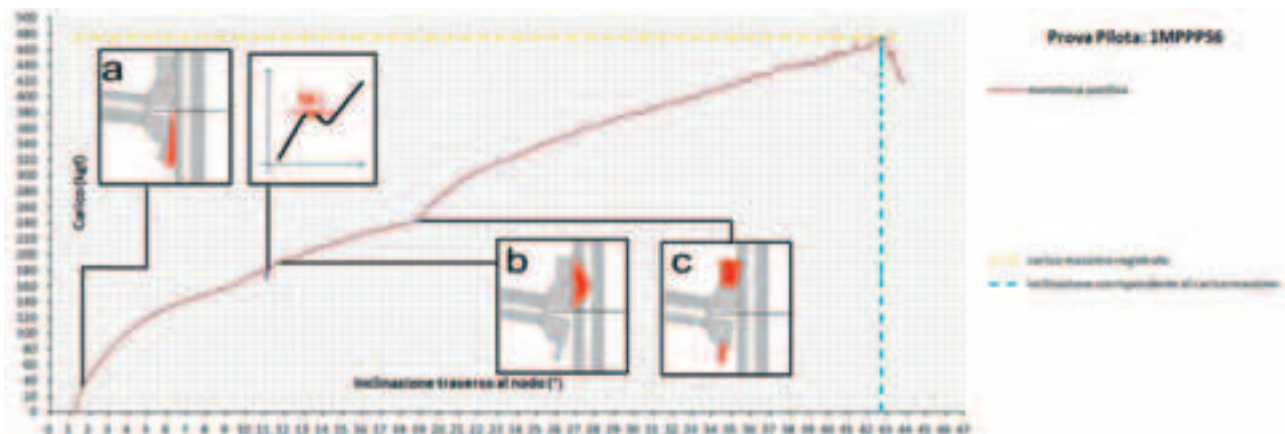


Figura 4.2.2.8-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo.

Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente.

Individuazione dei punti A, B e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a, b e c descritti in figura 4.1-4.

Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.



Figura 4.2.2.8-3: Inizio prova



Figura 4.2.2.8-4: Deformazione al 1° minuto di prova (evento a)



Figura 4.2.2.8-5: Deformazione al 9° minuto di prova



Figura 4.2.2.8-6: Deformazione al 18° minuto di prova



Figura 4.2.2.8-7: Deformazione al 21° minuto di prova –evidente imbozzamento del montante



Figura 4.2.2.8-8: Deformazione al 36° minuto di prova (evento c)



Figura 4.2.2.8-9: Deformazione al 47° minuto di prova



Figura 4.2.2.8-10: Deformazione al 58° minuto di prova



Figura 4.2.2.8-11: Fine prova



Figura 4.2.2.8-12: Fine prova – dettaglio 1

4.2.2.9 Prova 1MPPPS7

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

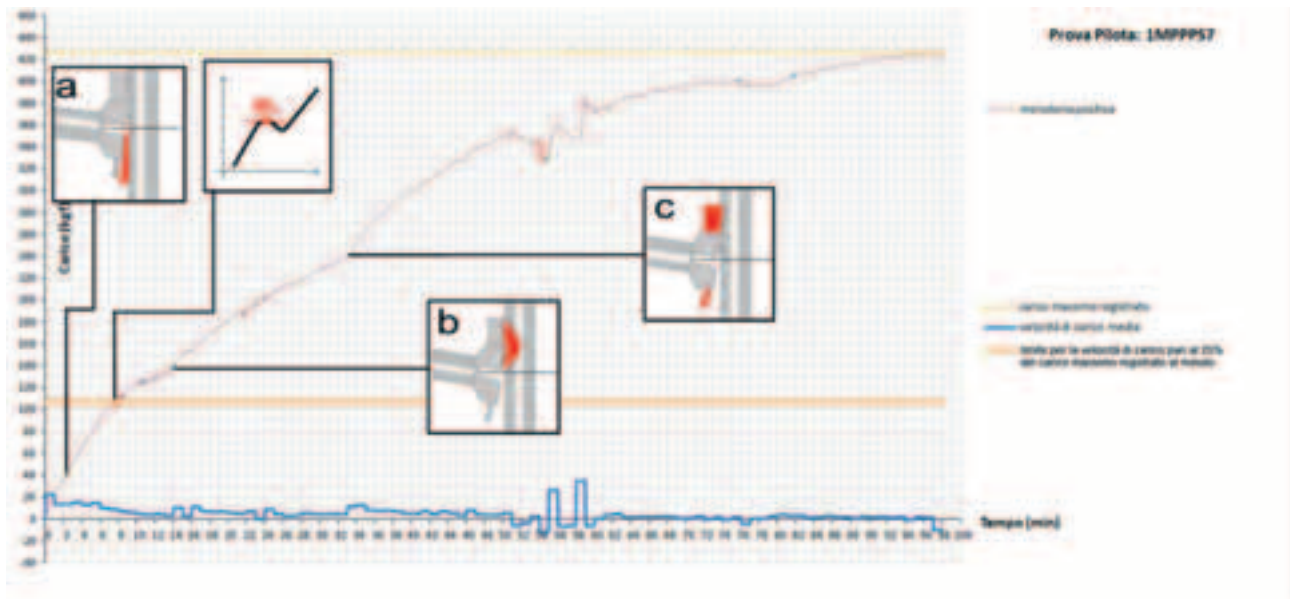


Figura 4.2.2.9-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min).
 Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato.
 Individuazione dei punti A, B e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a, b e c descritti in figura 4.1-4.
 Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

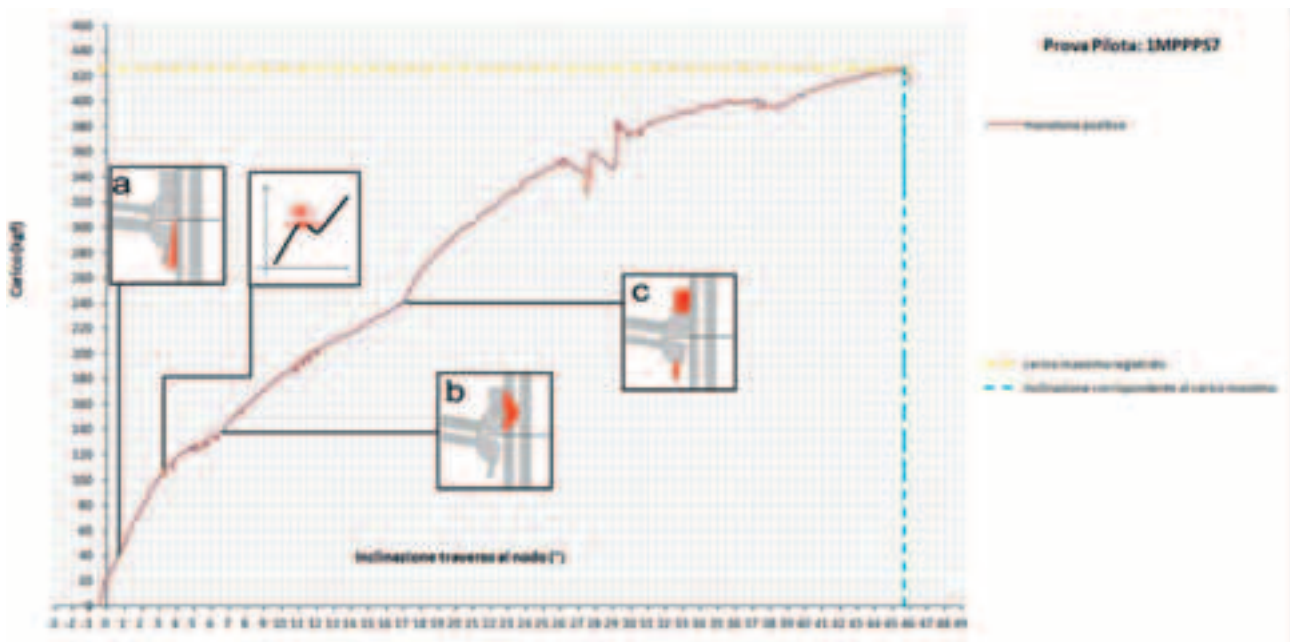


Figura 4.2.2.9-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo.
 Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente.
 Individuazione dei punti A, B e C corrispondenti al verificarsi degli eventi a, b e c descritti in figura 4.1-4.
 Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.



Figura 4.2.2.9-3: Inizio prova



Figura 4.2.2.9-4: Deformazione al 15° minuto di prova



Figura 4.2.2.9-5: Deformazione al 35° minuto di prova



Figura 4.2.2.9-6: Deformazione al 39° minuto di prova



Figura 4.2.2.9-7: Deformazione al 81° minuto di prova



Figura 4.2.2.9-8: Deformazione al 81° minuto di prova



Figura 4.2.2.9-9: Deformazione al 81° minuto di prova



Figura 4.2.2.9-10: Fine prova



Figura 4.2.2.9-11: Fine prova



Figura 4.2.2.9-12: Fine prova - Deformazione permanente del montante al contatto con la forchetta



Figura 4.2.2.9-13: Fine prova - Deformazione permanente del montante al contatto con la forchetta e della rosetta – vista laterale

4.2.2.10 Prova 1MPPPS8

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

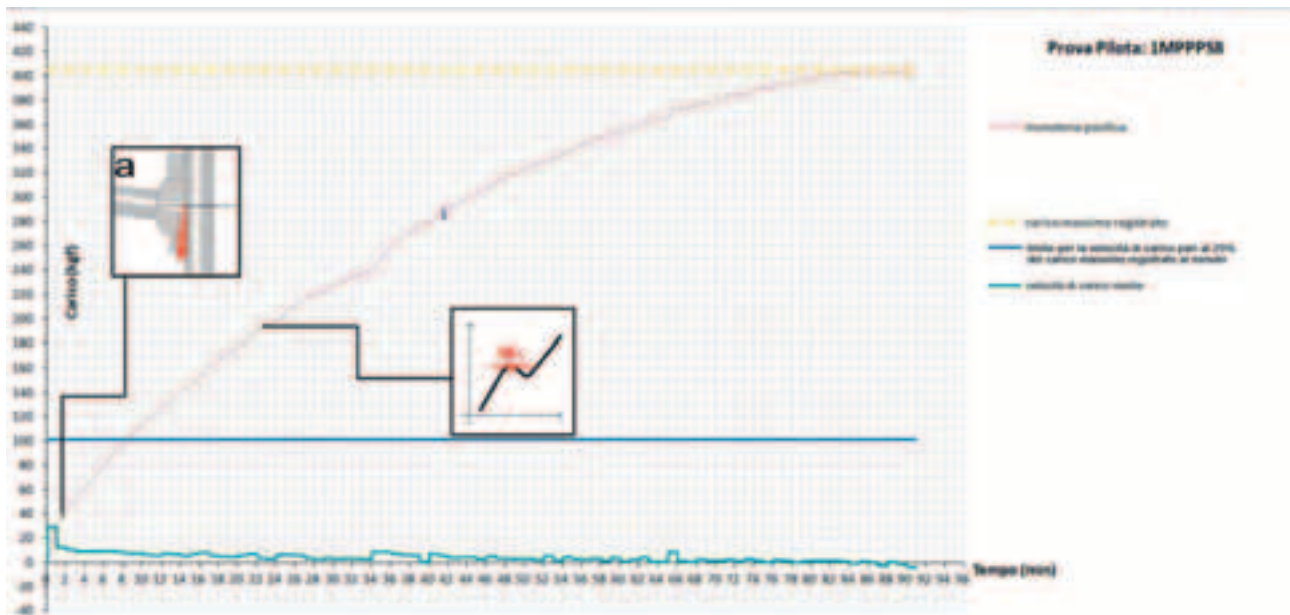


Figura 4.2.2.10-1: Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg_f/min).
 Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato.
 Individuazione del punto A corrispondente al verificarsi dell'evento a descritto in figura 4.1-4.
 Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.

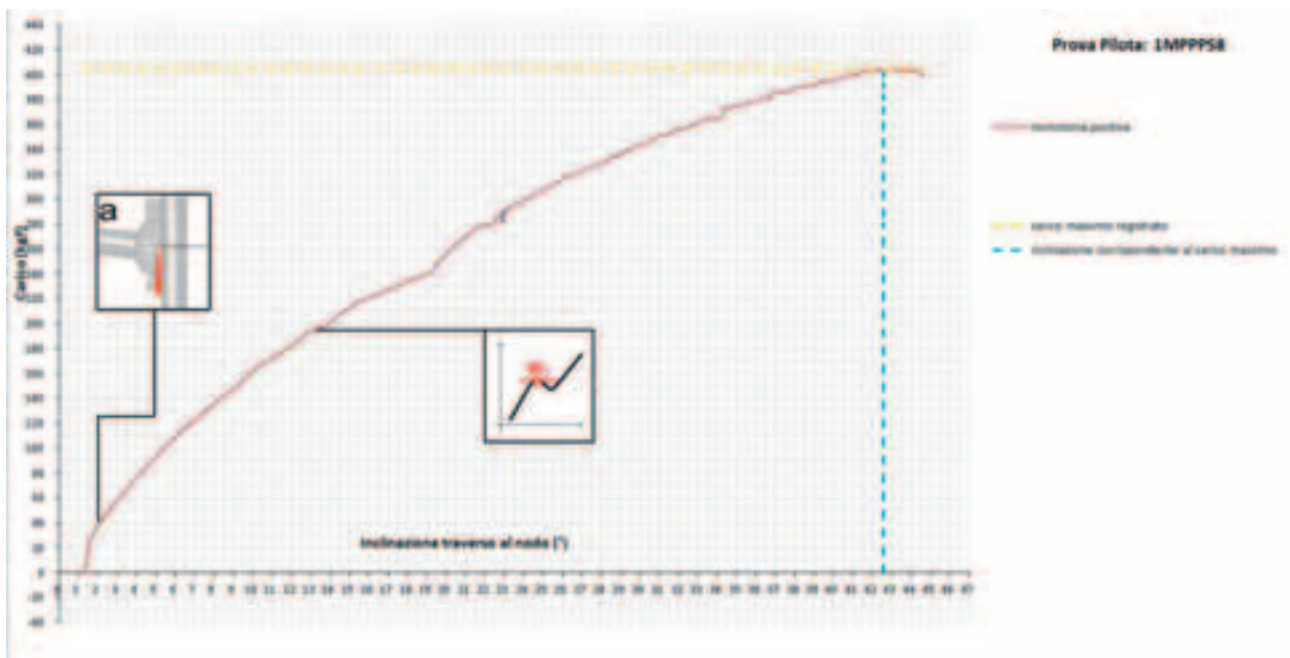


Figura 4.2.2.10-2: Curva carico-inclinazione del traverso al nodo.
 Carico massimo registrato e inclinazione corrispondente.
 Individuazione del punto A corrispondente al verificarsi dell'evento a descritto in figura 4.1-4.
 Individuazione del punto M_L corrispondente ad un massimo locale della curva.



Figura 4.2.2.10-3: Deformazione al 11° minuto di prova



Figura 4.2.2.10-4: Deformazione al 18° minuto di prova



Figura 4.2.2.10-5: Deformazione al 34° minuto di prova



Figura 4.2.2.10-6: Deformazione al 34° minuto di prova - dettaglio



Figura 4.2.2.10-7: Deformazione al 70° minuto di prova



Figura 4.2.2.10-8: Fine prova



Figura 4.2.2.10-9: Fine prova – dettaglio 1



Figura 4.2.2.10-10: Fine prova – dettaglio 2



Figura 4.2.2.10-11: Fine prova dopo la rimozione dell'attrezzatura di prova



Figura 4.2.2.10-12: Fine prova dopo la rimozione dell'attrezzatura di prova - dettaglio

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 ($F = 84,40\text{kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = 1,22^\circ$) 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 ($v_c = 2 \text{ kg}/\text{min}$).
- 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 ($F = 235,46\text{kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = 17,35^\circ$);
- 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 ($F = 182,60\text{kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = 11,17^\circ$);
- 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 ($F = 475,64\text{kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = 42,70^\circ$) (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 ($F = 107,35\text{kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = 3,26^\circ$);
- 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 ($F = 426\text{kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = 45,66^\circ$) (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 ($F = 194,64\text{kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = 13,02^\circ$);
- 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 ($F = 405,21\text{kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = 42,57^\circ$) (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.

E' 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 $v = 5 \text{ mm/min}$.

Sono stati eseguiti:

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

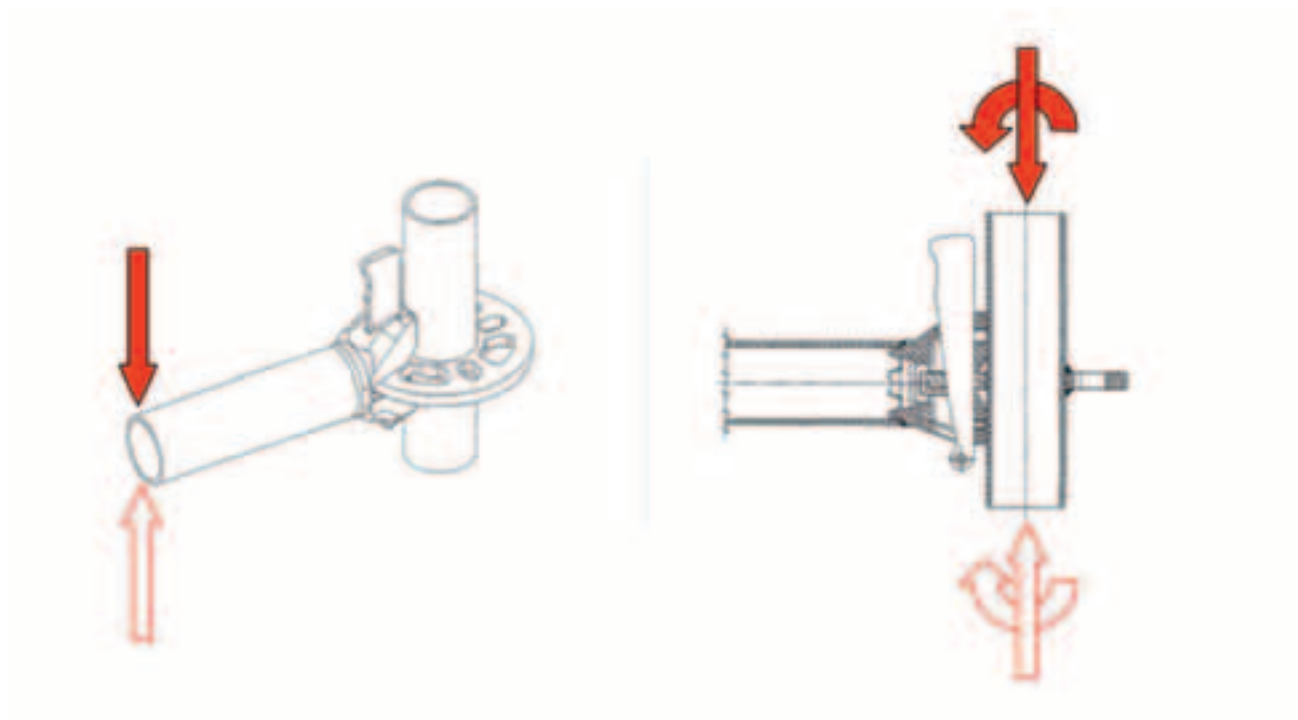


Figura 4.2.3-1 Schema di applicazione dello spostamento e azioni al nodo

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

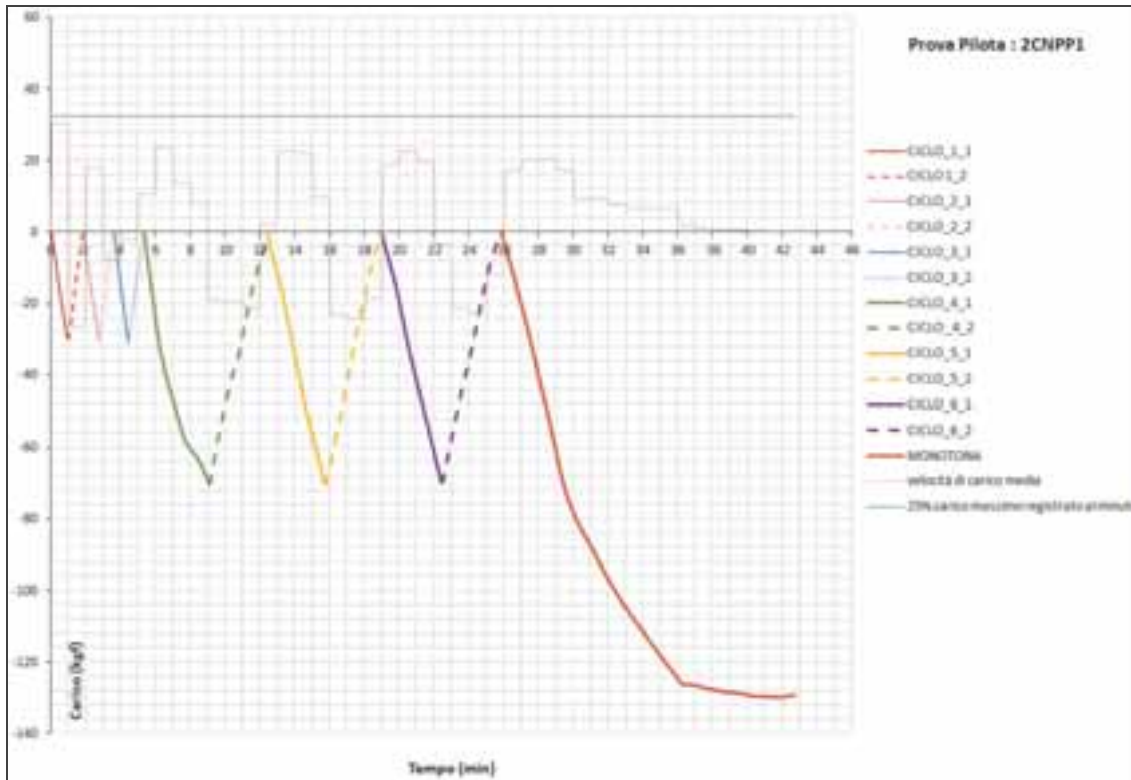


Figura 4.2.3-2 Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg/min).
 Limite per la velocità di carico calcolato in base al massimo carico registrato.

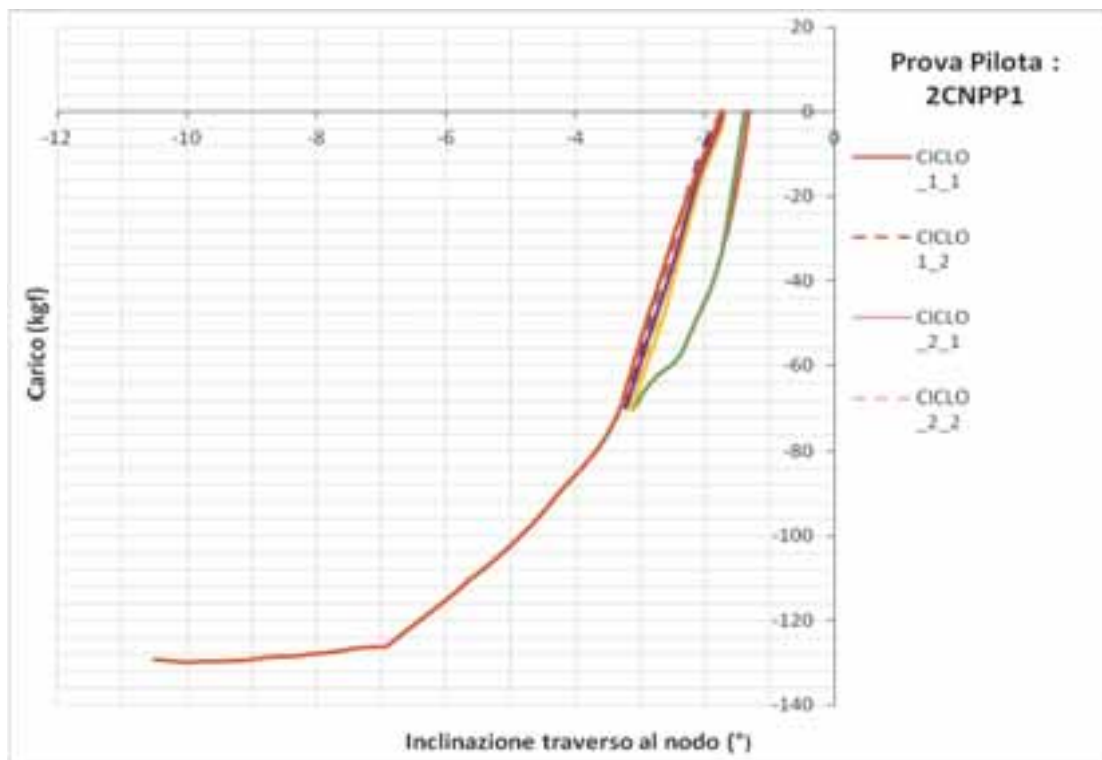


Figura 4.2.3-3 Curva carico-inclinazione trasverso al nodo



Figura 4.2.3-4: Deformazione al 39° minuto di prova



Figura 4.2.3-5: Deformazione al 39° minuto di prova



Figura 4.2.3-6: Deformazione al 39° minuto di prova



Figura 4.2.3-6: Fine prova



Figura 4.2.3-7: Fine prova

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.

E' 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 $v = 5 \text{ mm/min}$.

Sono stati eseguiti:

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

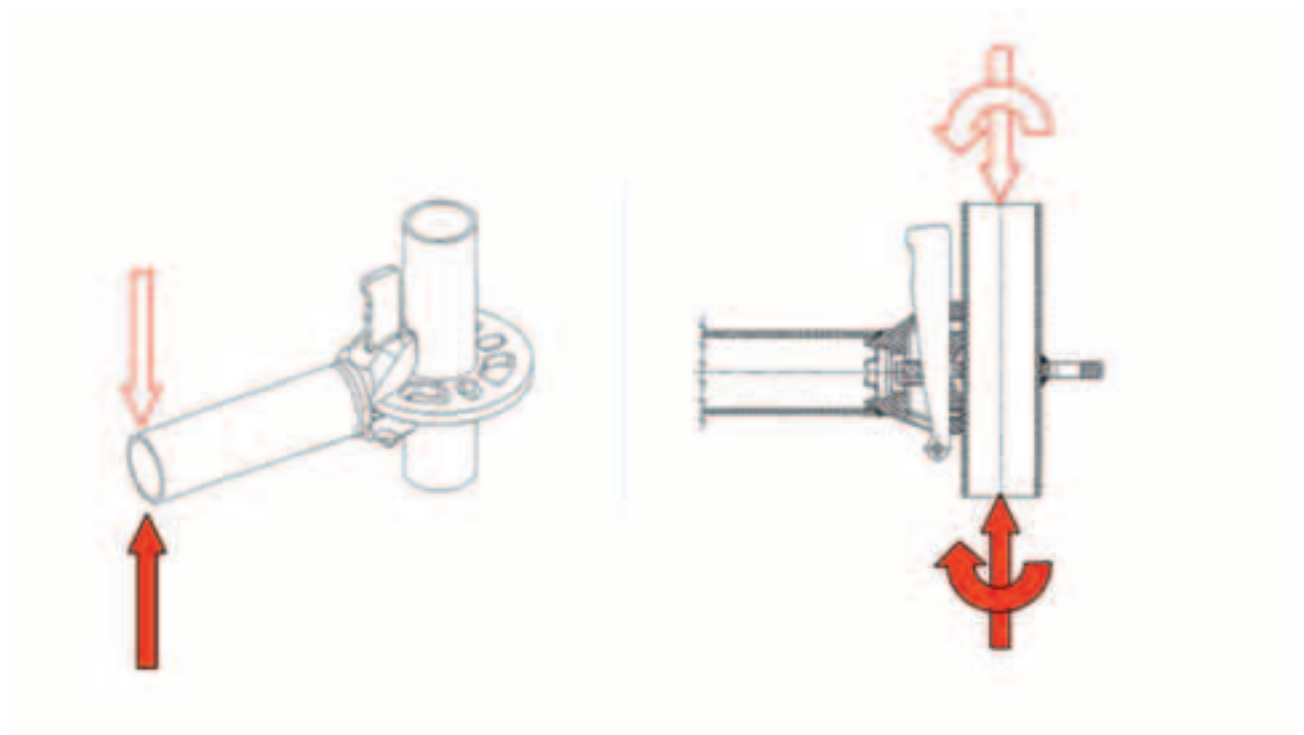


Figura 4.2.4-1 Schema di applicazione dello spostamento e azioni al nodo

Si riportano di seguito le curve carico-tempo e carico-rotazione

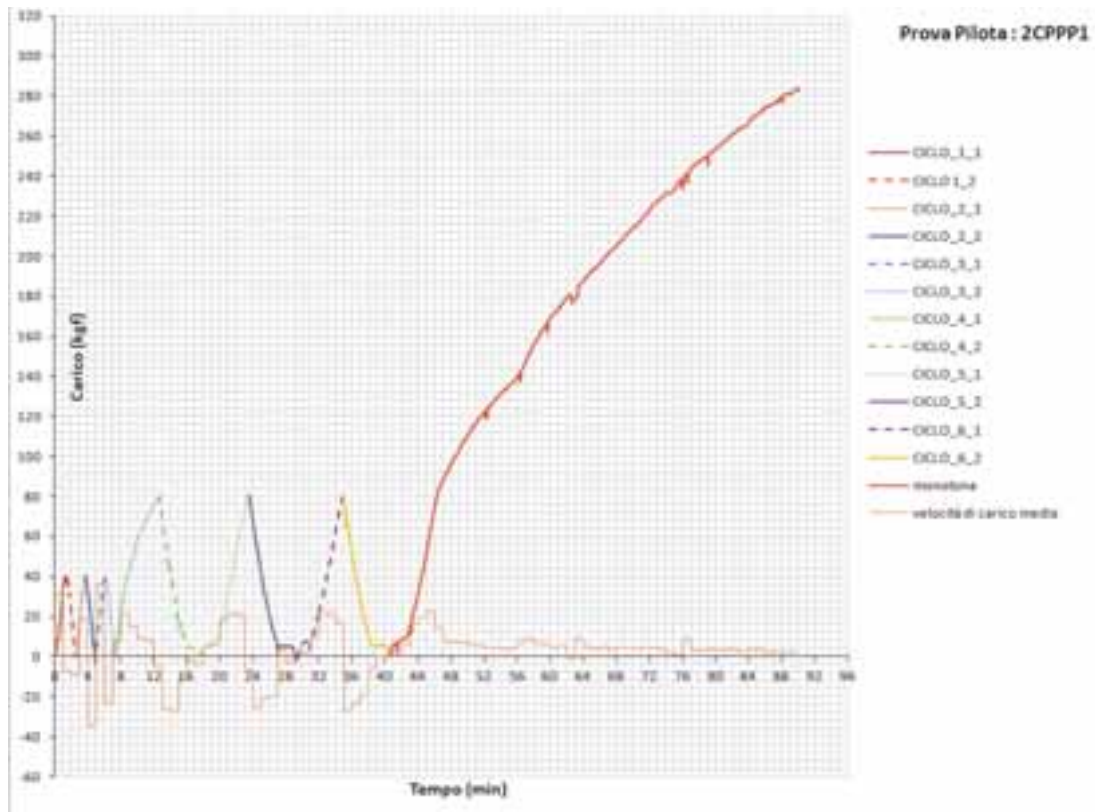


Figura 4.2.4-2 Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg/min).

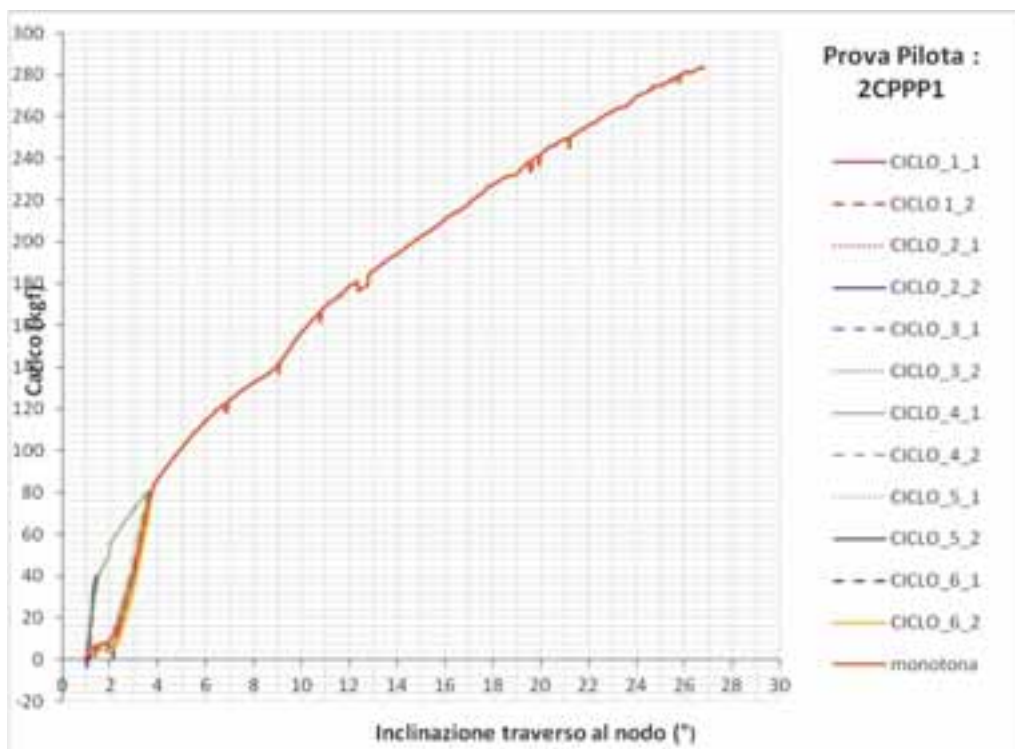


Figura 4.2.4-3 Curva carico-inclinazione trasverso al nodo



Figura 4.2.4-4: Inizio prova



Figura 4.2.4-5: Deformazione al 54° minuto di prova



Figura 4.2.4-6: Deformazione al 65° minuto di prova



Figura 4.2.4-7: Deformazione al 89° minuto di prova



Figura 4.2.4-8: Fine prova



Figura 4.2.4-9: Fine prova



Figura 4.2.4-10: Fine prova



Figura 4.2.4-11: Fine prova



Figura 4.2.4-12: Fine prova

4.2.4.1 Osservazioni sulla prova 2CPP1

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 kg/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 $v = 5\text{ mm/min}$.

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

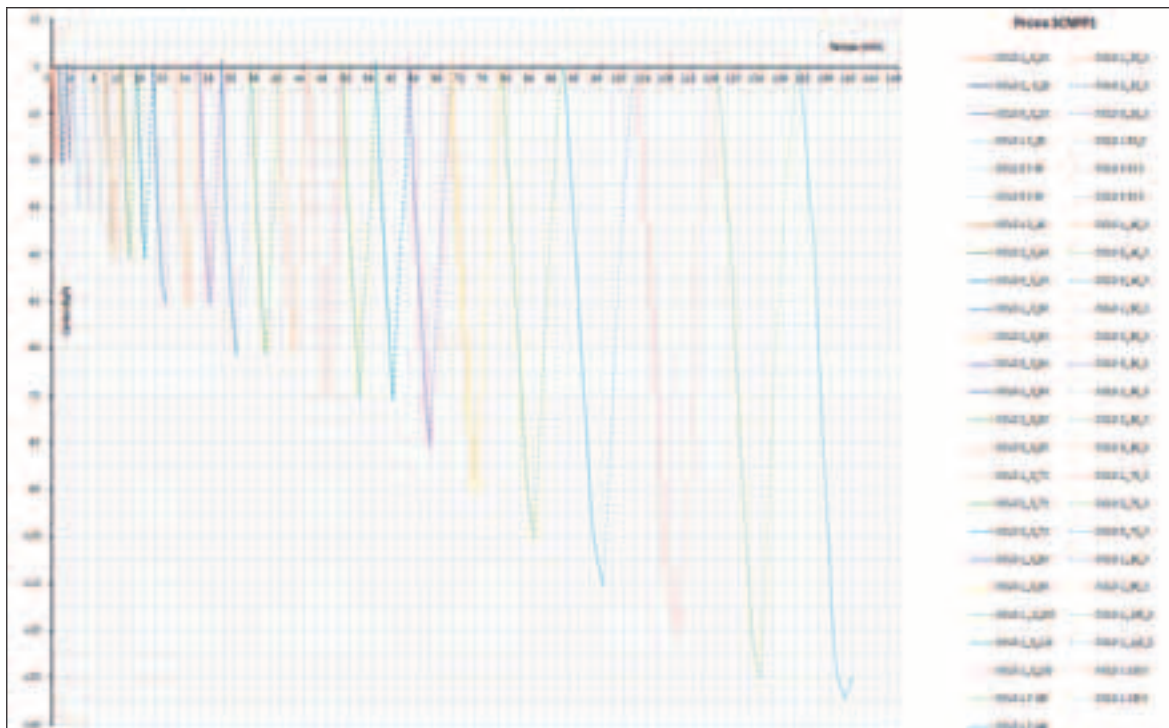


Figura 4.2.5-1 Curva carico-tempo. Velocità di carico media (kg/min).

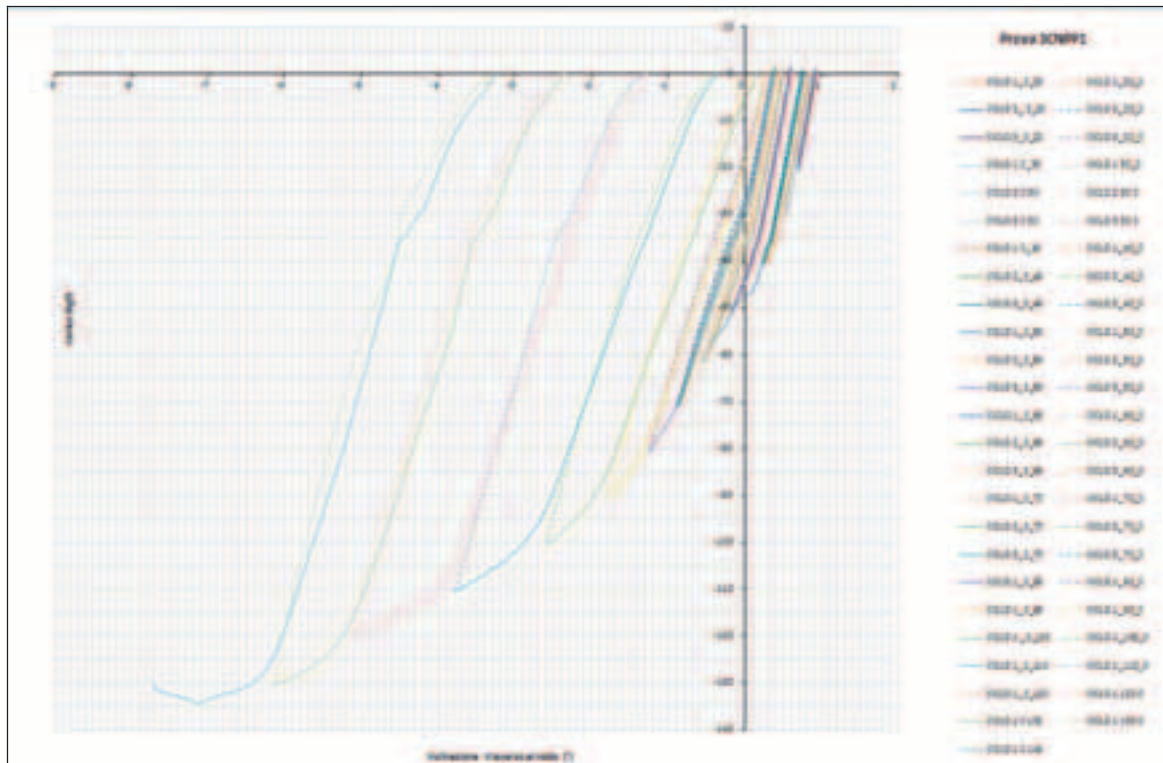


Figura 4.2.5-2 Curva carico-inclinazione trasverso al nodo

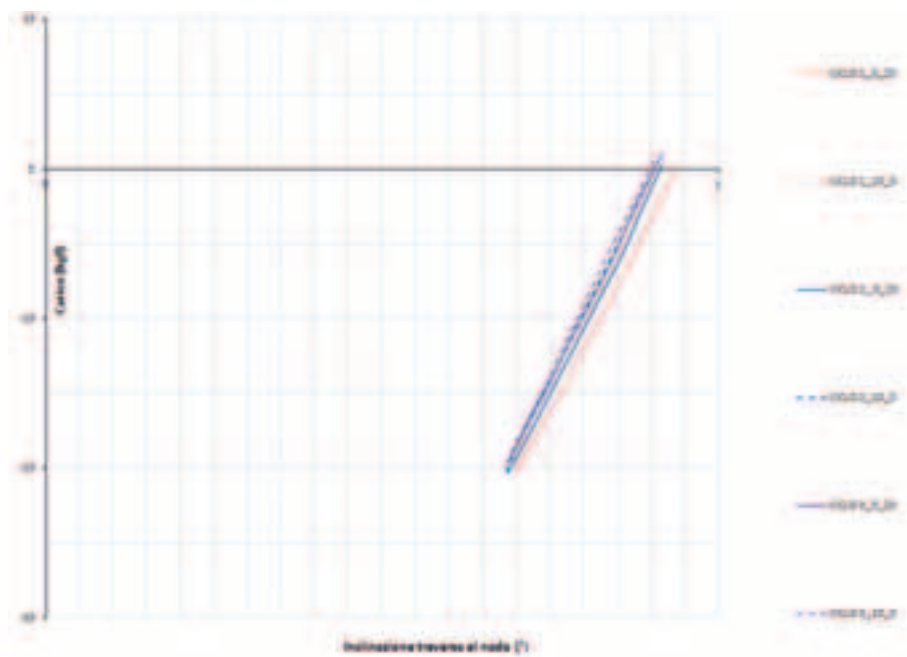


Figura 4.2.5-3 Curva parziale carico-inclinazione trasverso al nodo

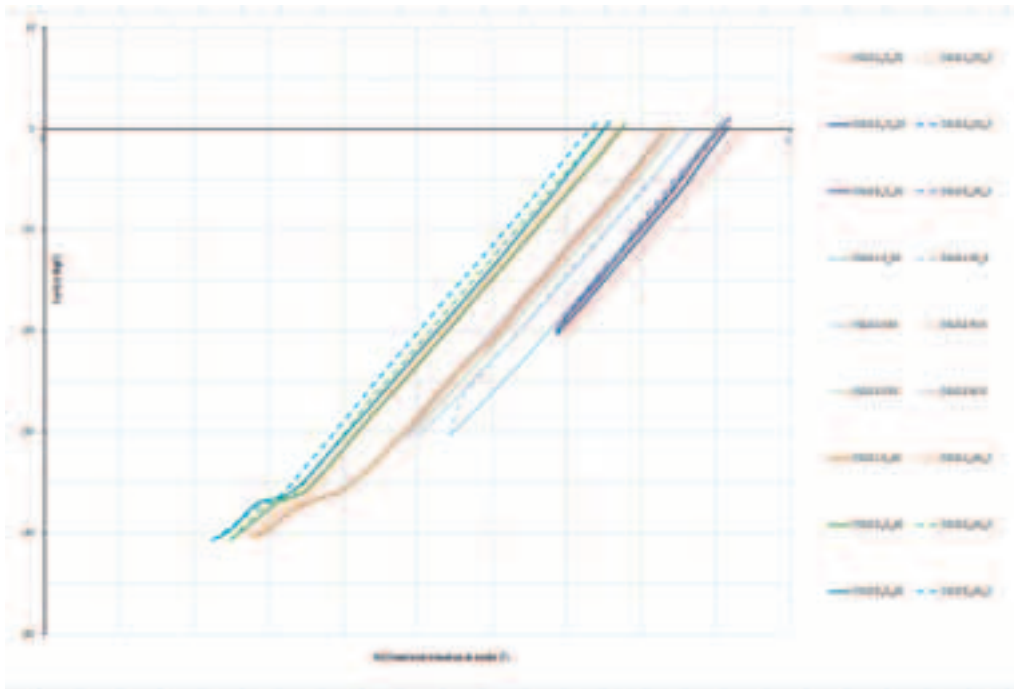


Figura 4.2.5-4 Curva parziale carico-inclinazione traverso al nodo



Figura 4.2.5-5: Inizio prova



Figura 4.2.5-6: Deformazione al 105° minuto di prova



Figura 4.2.5-7: Deformazione al 113° minuto di prova



Figura 4.2.5-8: Deformazione al 141° minuto di prova



Figura 4.2.5-9: Deformazione al 141° minuto di prova

4.2.5.1 Osservazioni sulla prova 3CNPP1

Si può osservare un comportamento elastico (piccole deformazioni residue allo scarico) nel range di carico $[0;(-20)]\text{kg}_f$, nel range di carico $[0;(-30)]\text{kg}_f$ 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 $F = -134,44\text{kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = -7,12^\circ$.

4.2.6 Prova 3CPPP1

La prova 3CPPP1 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 80 kg_f .

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-rotazione.

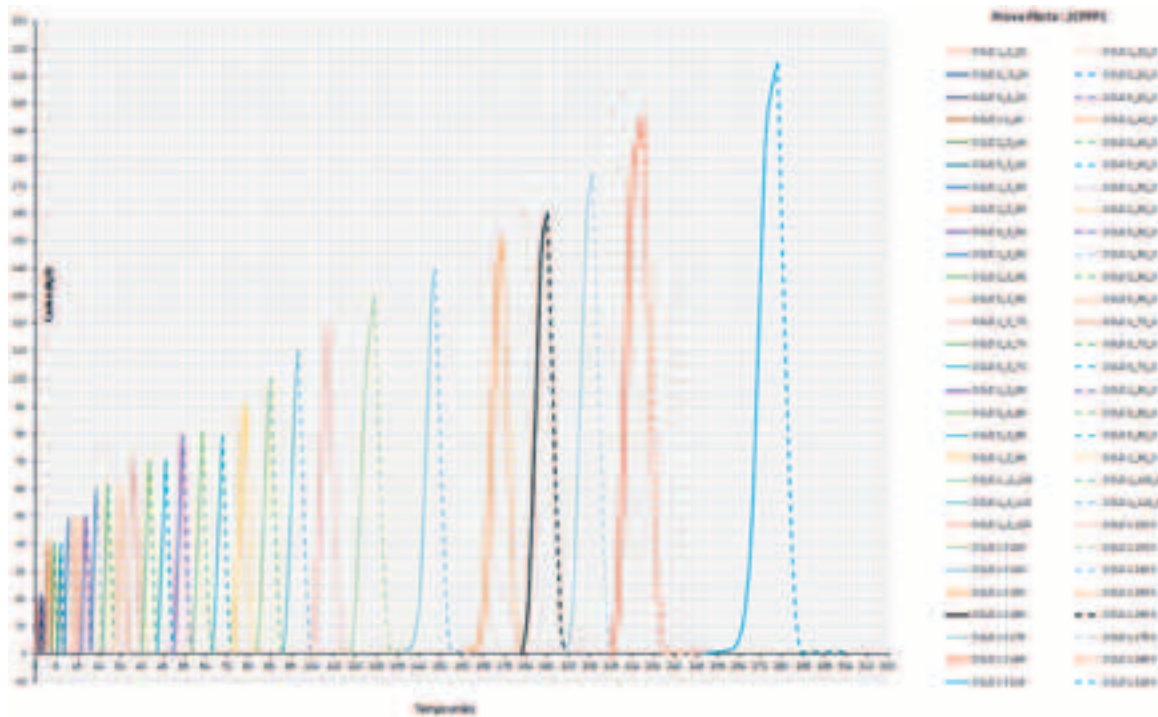


Figura 4.2.6-1: Curva carico-tempo

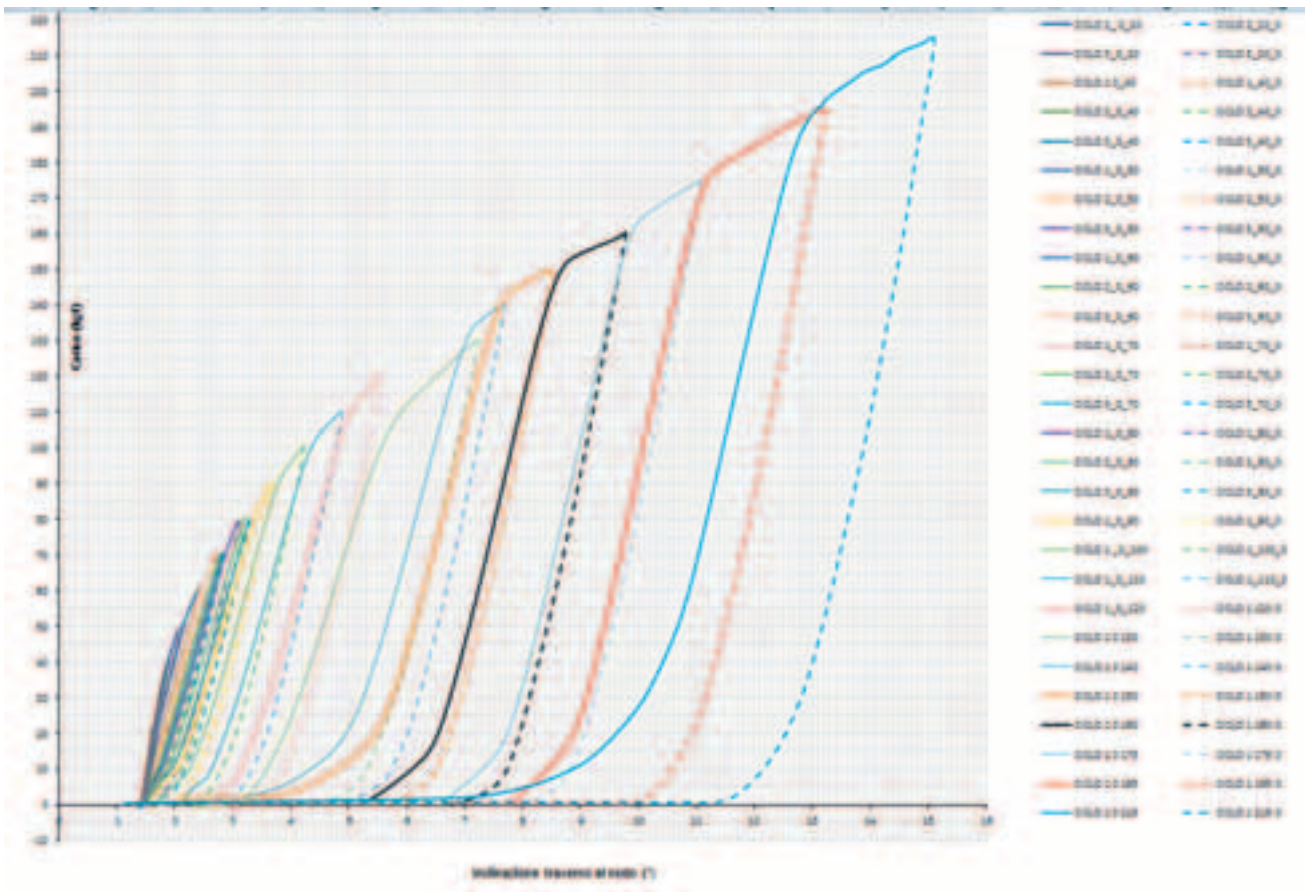


Figura 4.2.6-2 Curva carico-inclinazione trasverso al nodo

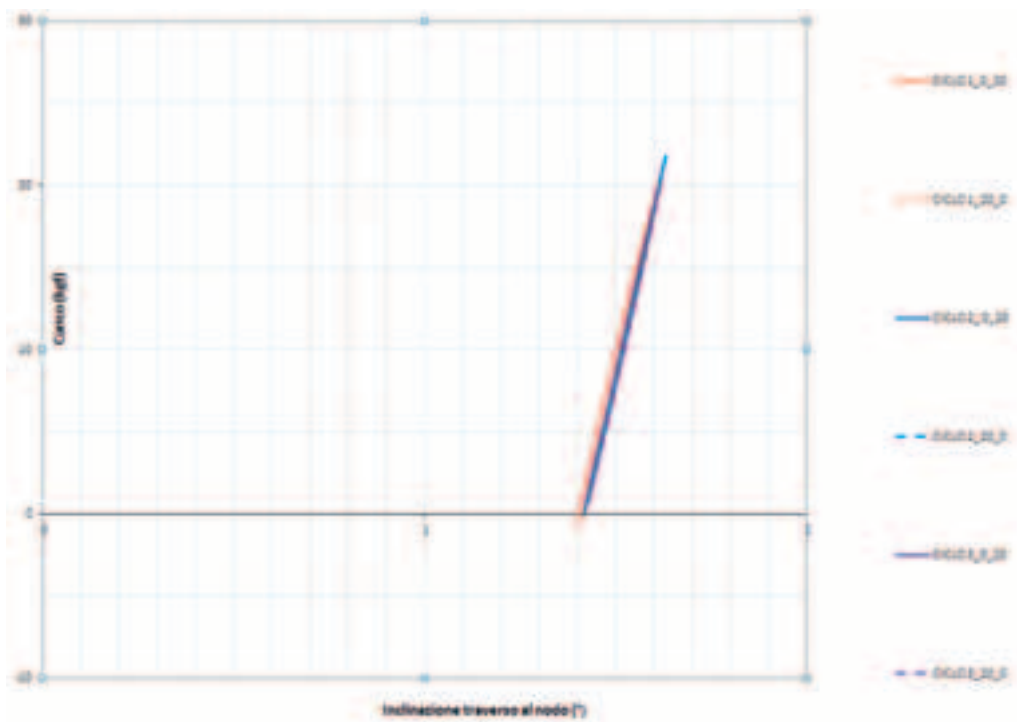


Figura 4.2.6-3 Curva parziale carico-inclinazione trasverso al nodo

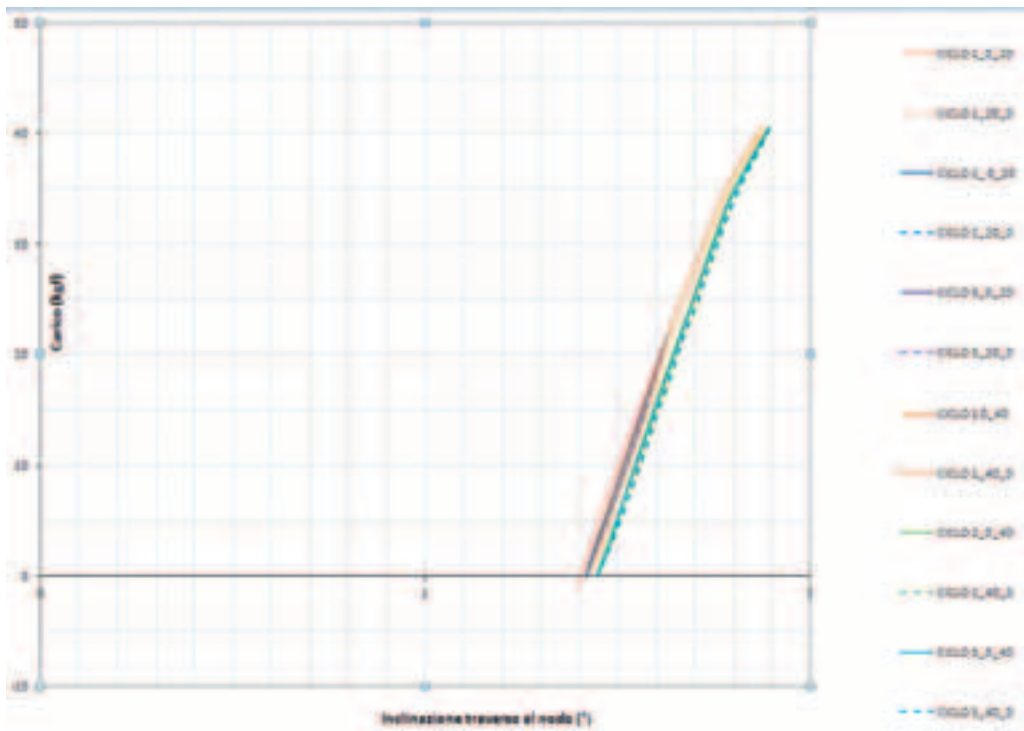


Figura 4.2.6-4 Curva parziale carico-inclinazione traverso al nodo

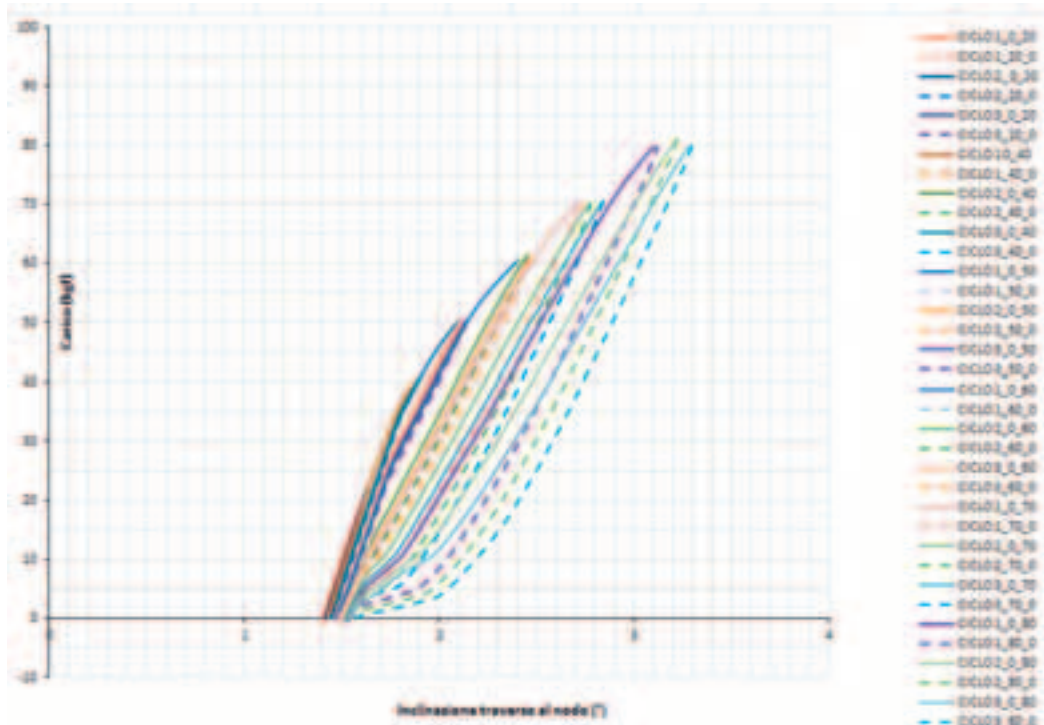


Figura 4.2.6-5 Curva parziale carico-inclinazione traverso al nodo



Figura 4.2.6-6: Inizio prova



Figura 4.2.6-7: Deformazione al 89° minuto di prova



Figura 4.2.6-8: Deformazione al 124° minuto di prova



Figura 4.2.6-9: Deformazione al 126° minuto di prova



Figura 4.2.6-10: Deformazione al 128° minuto di prova



Figura 4.2.6-11: Deformazione al 184° minuto di prova



Figura 4.2.6-12: Deformazione al 194° minuto di prova



Figura 4.2.6-13: Deformazione al 212° minuto di prova



Figura 4.2.6-14: Deformazione al 212° minuto di prova



Figura 4.2.6-15: Deformazione al 250° minuto di prova



Figura 4.2.6-16: Deformazione al 253° minuto di prova



Figura 4.2.6-17: Deformazione al 280° minuto di prova



Figura 4.2.6-18: Deformazione al 280° minuto di prova



Figura 4.2.6-19: Deformazione al 287° minuto di prova



Figura 4.2.6-20: Deformazione al 296° minuto di prova



Figura 4.2.6-21: Deformazione al 299° minuto di prova



Figura 4.2.6-22: Fine prova allo scarico della traversa

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 φ_0 e carico nullo, si eseguono $n^\circ 1$ cicli per ogni livello di carico incrementato di 10 kg_f a partire da (-10 kg_f; φ_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 $v = 5$ mm/min.

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

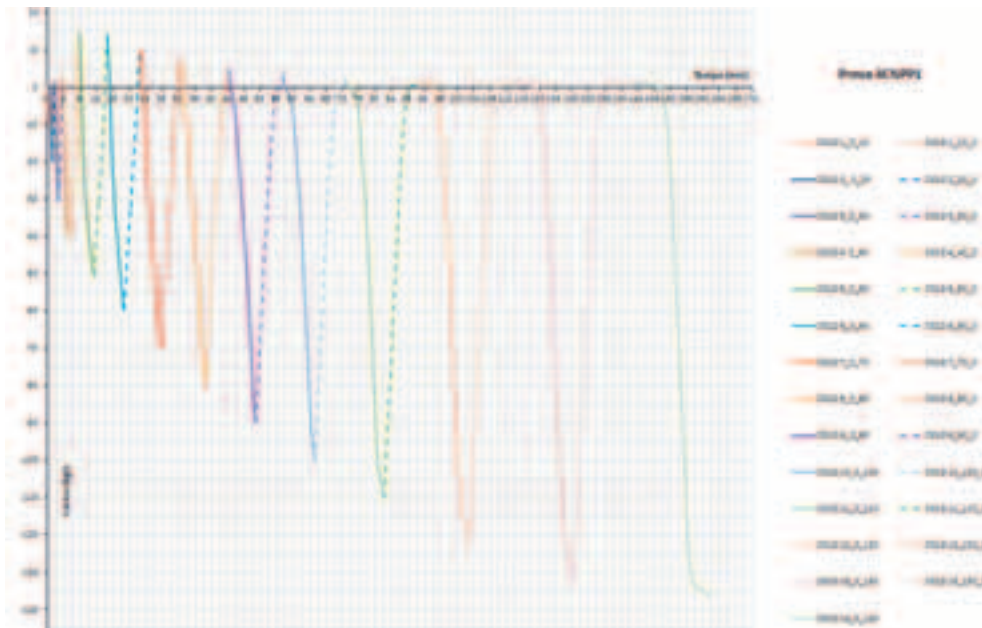


Figura 4.2.7-1 Curva carico-tempo

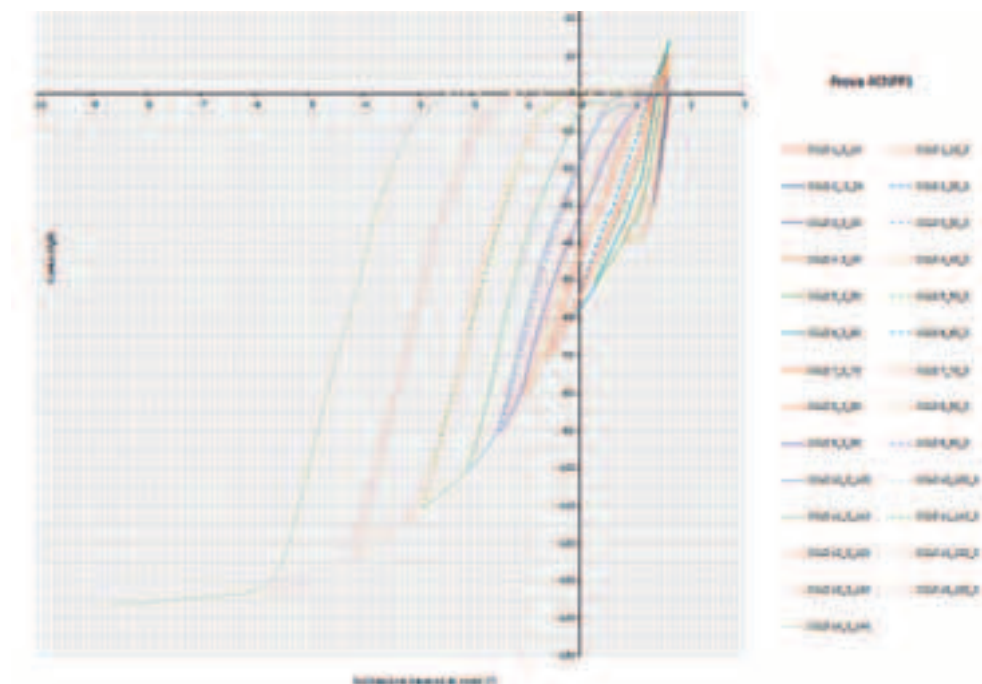


Figura 4.2.7-2: Curva carico-inclinazione traverso al nodo



Figura 4.2.7-3 Inizio prova



Figura 4.2.7-4: Deformazione al 65° minuto di prova



Figura 4.2.7-5: Deformazione al 65° minuto di prova



Figura 4.2.7-6: Deformazione al 103° minuto di prova



Figura 4.2.7-7: Deformazione al 143° minuto di prova



Figura 4.2.7-8: Fine prova



Figura 4.2.7-9: Fine prova



Figura 4.2.7-10: Fine prova



Figura 4.2.7-11: Fine prova

4.2.7.1 Osservazioni sulla prova 4CNPP1

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

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 $F = -136,14 \text{kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = -8,52^\circ$.

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 $+10 \text{ kg}_f$ a partire da $(+10 \text{ kg}_f; \varphi_0)$ 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-rotazione.

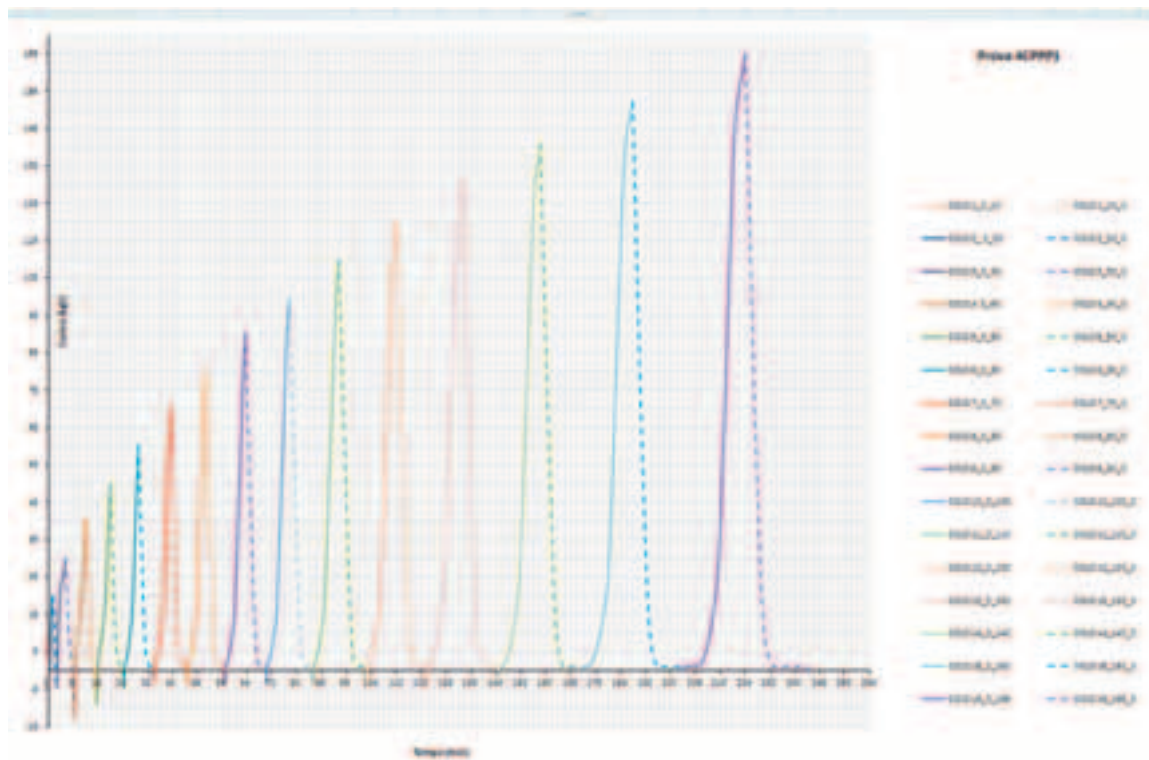


Figura 4.2.8-1 Curva carico-tempo

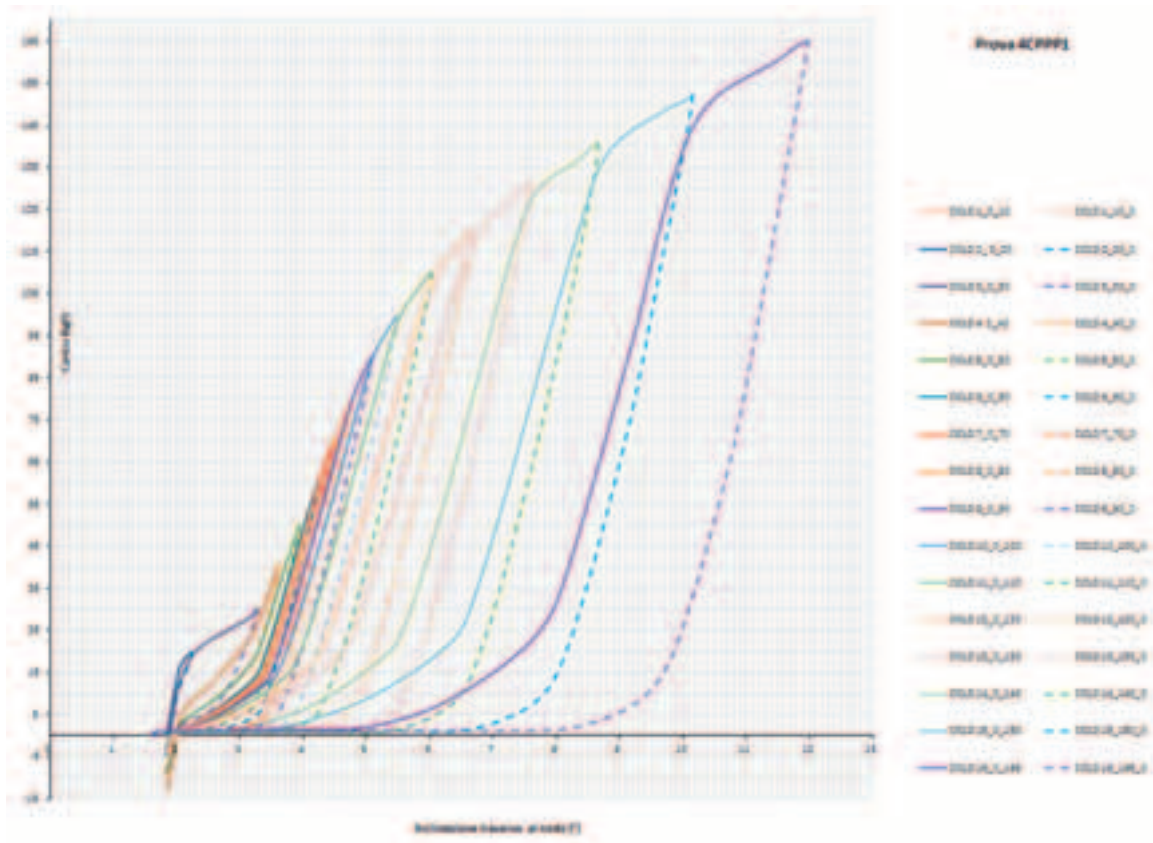


Figura 4.2.8-2 Curva carico-inclinazione traverso al nodo

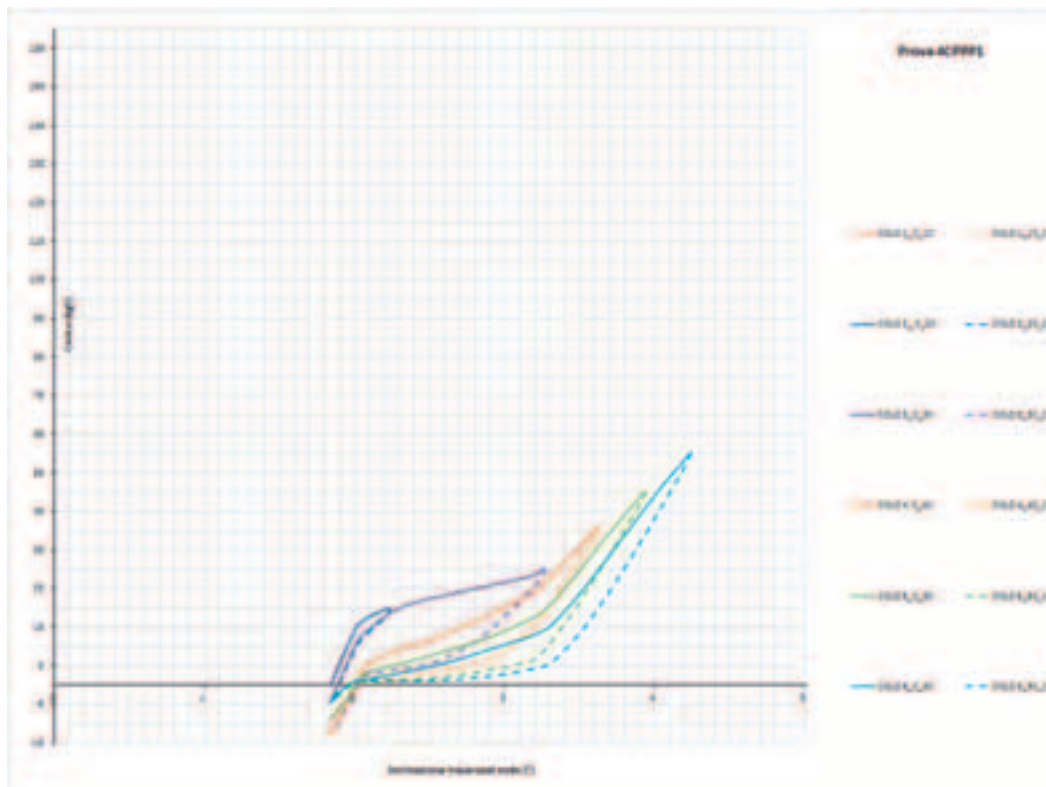


Figura 4.2.8-3 Curva parziale carico-inclinazione traverso al nodo

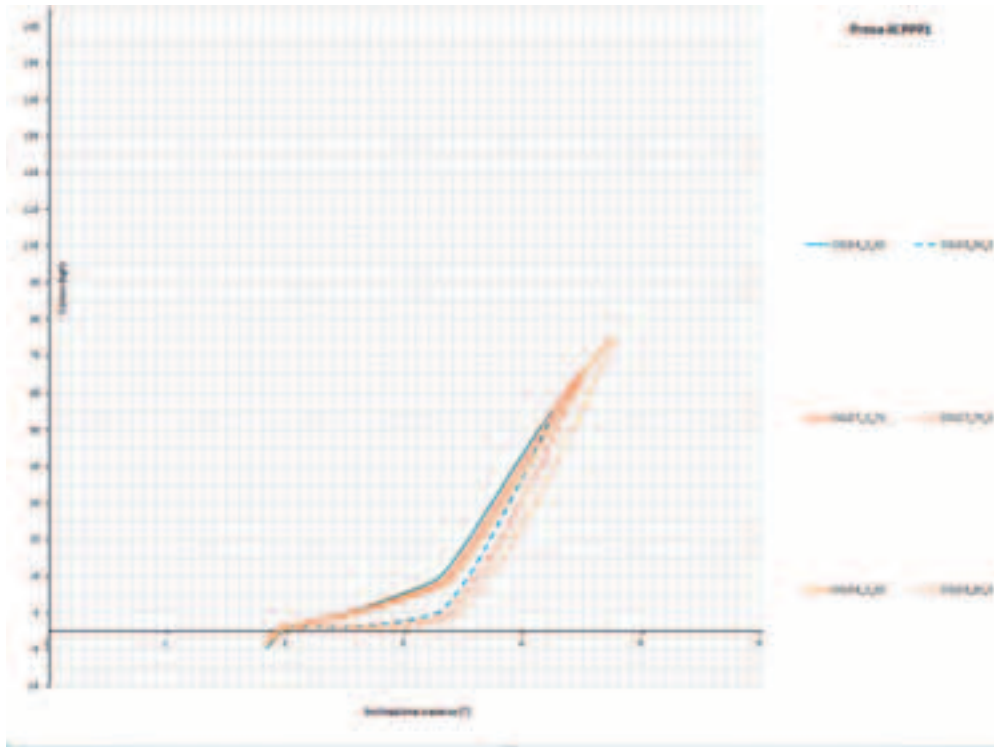


Figura 4.2.8-4 Curva parziale carico-inclinazione traverso al nodo

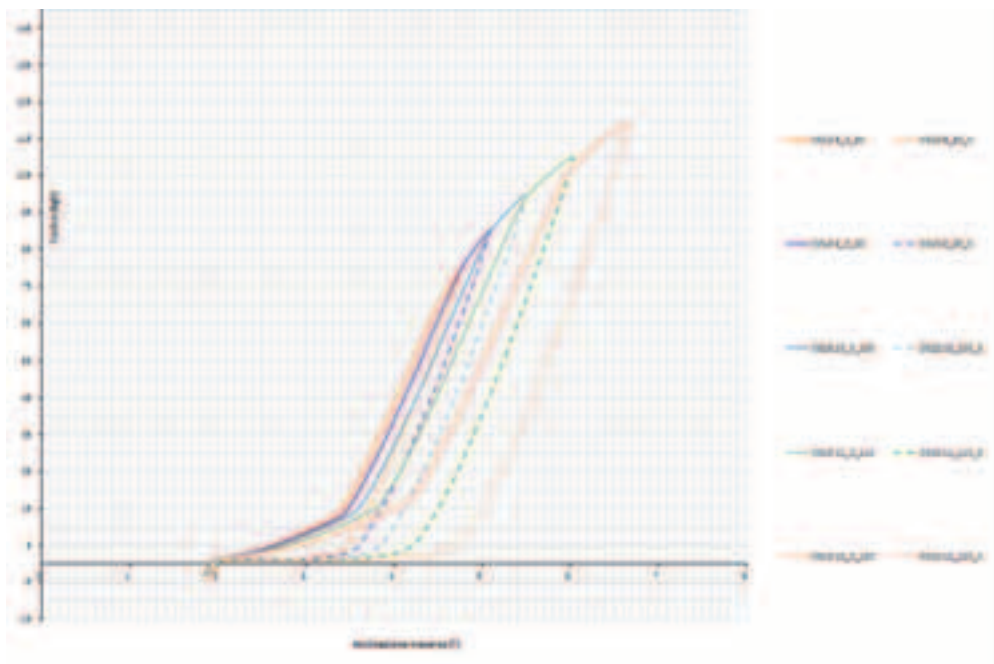


Figura 4.2.8-5 Curva parziale carico-inclinazione traverso al nodo



Figura 4.2.8-6: Deformazione al 111° minuto di prova



Figura 4.2.8-7: Deformazione al 138° minuto di prova



Figura 4.2.8-8: Deformazione al 138° minuto di prova



Figura 4.2.8-9: Deformazione al 173° minuto di prova



Figura 4.2.8-10: Deformazione al 190° minuto di prova



Figura 4.2.8-11: Deformazione al 220° minuto di prova



Figura 4.2.8-12: Deformazione al 220° minuto di prova



Figura 4.2.8-13: Deformazione al 226° minuto di prova



Figura 4.2.8-14: Deformazione al 226° minuto di prova



Figura 4.2.8-15: Deformazione al 242° minuto di prova



Figura 4.2.8-16: Deformazione al 242° minuto di prova



Figura 4.2.8-17: Fine prova



Figura 4.2.8-18: Fine prova

4.2.8.1 Osservazioni sulla prova 4CPP1

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

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: $F = 165,19\text{kg}_f$; $\varphi_{\text{corr}} = 11,98^\circ$.

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. 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.

Appendice: UNI EN 12811-3:2005, estratto del punto 10

VALUTAZIONE DELLA CAPACITA' PORTANTE E DELLA RIGIDEZZA DALLE PROVE DI CONFIGURAZIONI E COMPONENTI METALLICI

10.1 Generalità

Il punto 10 deve essere utilizzato per tutti i tipi di componenti metallici inclusi i collegamenti quali i nodi modulari (...).

I risultati dai tali prove devono essere valutati per determinare:

- il valore della resistenza caratteristica;*
- la rigidezza;*
- il gioco e*
- il fattore parziale di sicurezza γ_{R2} .*

Il prospetto 2 illustra le fasi per la determinazione del valore della resistenza caratteristica.

L'appendice A illustra il procedimento per le fasi da 1.1 a 2.2 del prospetto 2, con un esempio.

10.2 Funzioni di approssimazione

Di preferenza, il comportamento forza-spostamento o il comportamento momento-rotazione determinato mediante le prove durante il carico e durante lo scarico possono essere rappresentati mediante una funzione di approssimazione adatta, utilizzando il metodo di adattamento del minimo quadrato. Una funzione di approssimazione può essere accettata se il coefficiente di correlazione è $R^2 \geq 0,95$. Nei casi in cui non è possibile ottenere questo risultato per l'intera curva mediante un'unica funzione, si può stabilire più di una funzione di approssimazione.

Si può ipotizzare una linea retta orizzontale attorno al punto zero per la modellazione del gioco, come determinato in conformità a 10.10, per ottenere una curva come illustrata in figura 1.

Nota 1 Un comportamento asimmetrico nella direzione di carico positiva e in quella negativa può rendere necessario utilizzare più di una funzione di approssimazione.

Nota 2 I buoni programmi informatici di fogli di calcolo hanno la capacità di determinare una funzione di approssimazione e il coefficiente di correlazione.

Nota 3 Quando si utilizzano polinomi come funzioni di approssimazione, si dovrebbe prestare attenzione alle possibili ondulazioni negli spazi tra i punti dei valori misurati. Si dovrebbe cercare di ottenere punti dei valori misurati uniformemente distribuiti.

prospetto 2 Fasi per la determinazione del valore nominale $R_{k,nom}$ della resistenza caratteristica		
Numero della fase	Azione della fase (n è il numero di risultati di prova)	Punto
1.1	Determinazione - delle funzioni di approssimazione	10.2
1.2	- degli n quozienti q_e che rappresentano la dissipazione di energia	10.3
1.3	- degli n valori ultimi $r_{u,i}^a$	10.4
1.4	- della media \bar{q}_e	10.5
1.5	- del fattore parziale di sicurezza γ_{R2} in funzione di \bar{q}_e	
1.6	Regolazione di ogni valore ultimo da $r_{u,i}^a$ a $r_{u,i}^b$ secondo lo scostamento delle dimensioni delle sezioni trasversali.	10.6
2.1	Regolazione di ogni valore di rottura da $r_{u,i}^b$ a $r_{u,i}^c$ secondo le proprietà dei materiali in caso di:	10.7
2.2	- rottura del materiale, - perdita di stabilità.	
3.1	Determinazione statistica del valore caratteristico di base della resistenza $R_{k,b}$	10.8
3.2	Determinazione del valore caratteristico nominale della resistenza $R_{k,nom}$	10.9

Figura 10.1-1

Di regola, solo i valori di prova tra il 10% e il 90% dell'azione devono essere considerati per le curve di scarico. Per la parte rispettivamente minore del 10% e maggiore del 90%, si può utilizzare una linea retta con l'inclinazione della funzione di approssimazione per il 10% o il 90% rispettivamente. Se la funzione di approssimazione non devia significativamente da queste linee rette, può essere considerata anche la funzione di approssimazione.

Nota 4 In molti casi, una linea retta è adatta come funzione di approssimazione per la curva di scarico.

Nell'appendice A è illustrato un esempio.

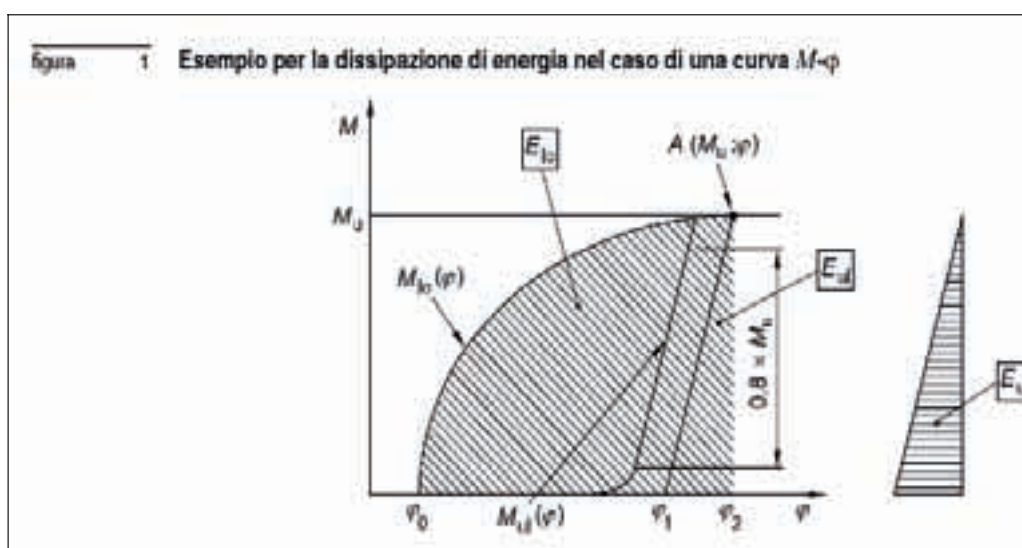


Figura 10.1-2

10.3 Dissipazione di energia

Per l'ulteriore valutazione, il quoziente q_e deve essere calcolato dall'equazione (1):

$$q_e = \frac{E_{Io}}{E_{ul}} \quad (1)$$

dove:

E_{Io} è l'energia inserita durante il carico, per esempio nella figura 1 in conformità all'equazione (2).

$$E_{Io} = \int_0^2 M_{Io}(\varphi) d\varphi \quad (2)$$

$$E_{ul} = \int_1^2 M_{ul}(\varphi) d\varphi \quad (3)$$

E_{ul} è l'energia che può essere riguadagnata durante lo scarico, per esempio nella figura 1 in conformità all'equazione (3).

Se la curva di scarico $M_{ul}(\varphi)$ nella figura 1 non è stata determinata per il punto A, l'ultima curva di scarico prima della rottura deve essere considerata e spostata in parallelo.

Nel caso di risultati di prova come quelli indicati nella figura 2, E_{Io} deve essere calcolata come l'area tratteggiata. Notare che per i cicli di isteresi, si deve considerare come curva di carico la curva di inviluppo, non la curva del primo carico.

I metodi grafici sono un'alternativa accettabile.

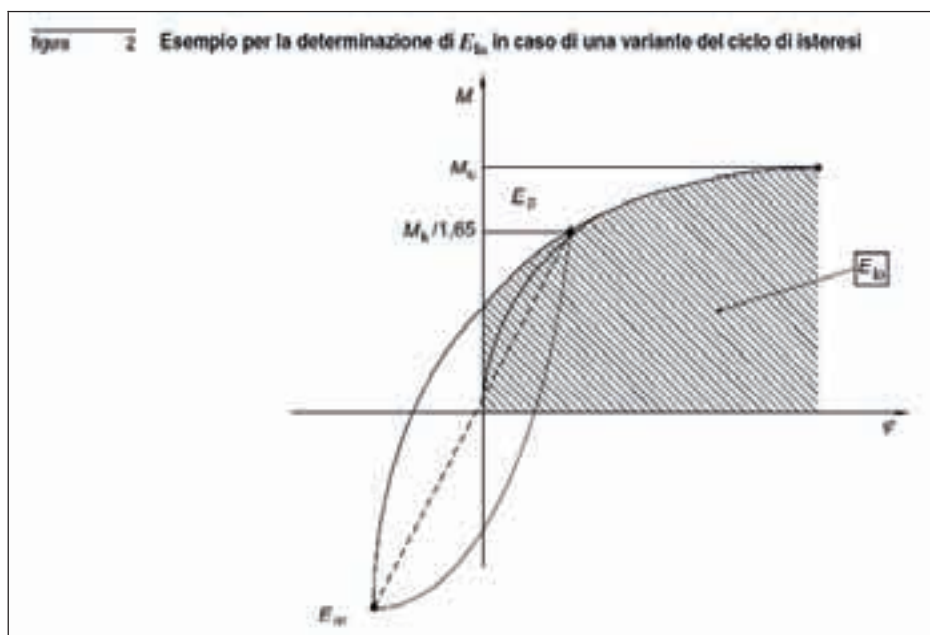


Figura 10.3-1

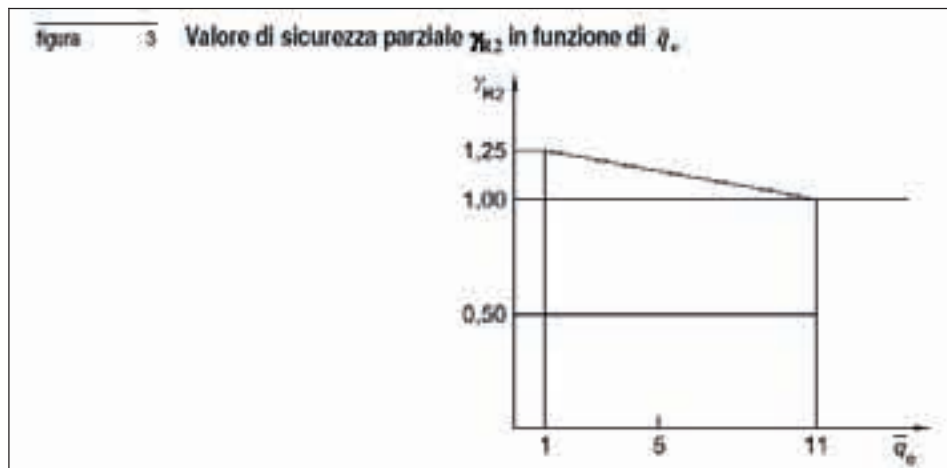


Figura 10.3-2

10.4 Il valore ultimo della resistenza

Il valore ultimo della resistenza della prova i deve essere considerato come il primo massimo della curva forza-spostamento o della curva momento-rotazione, oppure della forza o del momento per $q_e = 11$, secondo quale si verifica per primo. Solitamente, per il collegamenti ad attrito, l'attrito radente deve essere considerato come il valore ultimo, se si verifica lo scorrimento. Questo può essere minore del primo massimo.

10.5 Il fattore parziale di sicurezza γ_{R2} dipendente dalla duttilità

Il fattore parziale di sicurezza γ_{R2} deve essere determinato in funzione del quoziente in conformità all'equazione (5) che è illustrata graficamente nella figura 3. \bar{q}_e è la media aritmetica dei quozienti q_e determinati per una serie di prove identiche [equazione (4)].

$$\bar{q}_e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} q_e(i) \quad (4)$$

$$1,00 \leq \gamma_{R2} = -0,025 + \bar{q}_e + 1,275 \leq 1,25 \quad (5)$$

10.6 Regolazione dei valori ultimi da $r_{u,i}^a$ a $r_{u,i}^b$ dipendenti dagli scostamenti delle dimensioni della sezione trasversale

I valori di rottura $r_{u,i}^a$ devono essere regolati in base a $r_{u,i}^b$ per tenere conto delle variazioni nelle dimensioni effettive delle sezioni trasversali rispetto a quelle nominali.

Mentre un incremento nei valori di rottura può non essere effettuato, la riduzione deve essere eseguita secondo gli scostamenti dei parametri di controllo della sezione trasversale (per esempio area, resistenza a flessione, momento di inerzia) rispetto ai valori nominali.

Per componenti compressi orientati longitudinalmente (per esempio puntelli, puntoni), la riduzione deve essere eseguita in conformità a quanto segue:

Scostamento del parametro di controllo	Azione
$d \leq 0,01$	Non è necessaria alcuna riduzione
$0,01 < d \leq 0,10$	Riduzione lineare
$0,10 < d$	Necessarie prove con componenti nuovi

Per altri componenti, non è richiesta alcuna riduzione se le dimensioni pertinenti delle sezioni trasversali rientrano nelle tolleranze specificate. Quando si riscontra che le dimensioni non rientrano nelle tolleranze specifiche, si devono eseguire prove con componenti nuovi.

10.7 Regolazione dei valori ultimi da $r_{u,i}^a$ a $r_{u,i}^c$ dipendenti dalle proprietà dei materiali

I valori di rottura $r_{u,i}^b$ devono essere regolati in base a $r_{u,i}^c$ secondo la proporzione delle proprietà dei materiali effettive rispetto a quelle garantite.

La regolazione dei valori di rottura deve essere effettuata mediante l'equazione (6) dove ξ_a deve essere considerato in conformità al prospetto 3.

$$r_{u,i}^c = \frac{r_{u,i}^b}{\xi_a} \quad (6)$$

$$\xi_a = \xi_y \text{ se } 0 \leq \bar{\lambda} \leq 0,2 \quad (7)$$

$$\xi_a = \xi_y - (\xi_y - 1) \cdot \frac{\bar{\lambda} - 0,2}{d_M} \text{ se } 0,2 < \bar{\lambda} \leq (d_M + 0,2) \quad (8)$$

$$\xi_y = \frac{f_{y,a}}{f_{y,k}} \quad (9)$$

dove:

d_M 1,3 per componenti di acciaio;

d_M 1,5 per componenti di alluminio;

d_M 1,7 per componenti di materiale fuso;

$\bar{\lambda}$ snellezza relativa calcolata dall'equazione (10):

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{ci}}} \quad (10)$$

N_{pl} la forza normale in condizione completamente plastica:

calcolata da: $N_{pl} = A_{nom} \cdot f_{y,k}$

A_{nom} area della sezione trasversale;

$f_{y,k}$ valore caratteristico del carico di snervamento;

$f_{y,a}$ valore effettivo del carico di snervamento;

N_{ci} carico elastico di instabilità.

N_{ci} deve essere determinato per la situazione di instabilità pertinente, in conformità alla teoria elastica.

Nota Per esempio N_{ci} deve essere calcolato dall'equazione (11) per una colonna incernierata a entrambe le estremità con una sezione trasversale costante.

$$N_{ci} = \frac{\pi^2 \cdot (E \cdot I)_k}{l^2} \quad (11)$$

dove:

$(E \cdot I)_k$ valore caratteristico della rigidezza della sezione trasversale;

l lunghezza della colonna.

prospetto 3 Regolazione dei risultati di prova secondo il tipo di rottura		
N°	Tipo di rottura	Coefficiente di regolazione
1	instabilità ^{a)}	ξ_u in conformità all'equazione (7) e (8)
2	frattura ^{b)}	$\xi_u = \frac{f_u}{f_y}$
3	storiatura	
4	grandi deformazioni senza rottura ^{b)}	
5	scorrimento del collegamento ad attrito	nessuna riduzione
a)	La perdita di stabilità si verifica quando, per componenti sottoposti a pressione o a curvatura, le deformazioni crescono rapidamente per piccoli incrementi del carico.	
b)	In caso di diversi elementi interessati con differenti materiali, che potrebbero a loro volta rompersi, si deve prendere in considerazione il coefficiente di riduzione più sfavorevole.	

Figura 10.7-1

Se la resistenza a trazione può essere determinata solo attraverso prove di durezza, $f_{y,a}$ deve essere determinato con l'equazione (12).

$$f_{y,a} = f_{y,k} \frac{f_{u,a}}{f_{u,k}} \quad (12)$$

dove:

- $f_{u,k}$ valore caratteristico della resistenza a trazione;
- $f_{u,a}$ valore effettivo della resistenza a trazione.

I valori $f_{y,k} = R_{eH}$ o $f_{y,k} = R_{e0,2}$ e $f_{u,k} = R_m$ e $\varepsilon_{u,k}$ devono essere ricavati dalle norme pertinenti. Quando le norme pertinenti definiscono una gamma per l'allungamento del materiale, il valore minimo deve essere considerato per $\varepsilon_{u,k}$.

Se è difficile determinare le proprietà dei materiali di elementi fabbricati di piccole dimensioni nel caso in cui le proprietà originali sono modificate durante il processo di produzione o gli elementi sono di metallo fuso, la regolazione può essere limitata al valore garantito dal fabbricante. In questo caso il fabbricante deve garantire che la resistenza del componente corrispondente non sia inferiore al valore garantito durante la fabbricazione.

Quando una zona che subisce l'influsso del calore di una lega di alluminio può contribuire alla rottura, il coefficiente di riduzione deve essere valutato con i parametri associati al materiale non influenzato dal calore.

Se il rapporto tra il carico di snervamento degli elementi critici di una configurazione e il valore ultimo del parametro interessato è stato stabilito mediante prove, la regolazione in base ai valori ultimi può essere effettuata mediante interpolazione.

10.8 Determinazione statistica del valore caratteristico di base della resistenza $R_{k,b}$

I valori ultimi regolati $r_{u,i}^c$ devono essere valutati statisticamente per determinare il valore caratteristico di base della resistenza $R_{k,b}$ dove $R_{k,b}$ è definito come il quantile del 5% per un livello di confidenza del 75%. Il prospetto 4 fornisce valori per k_{sk} . Normalmente, si può assumere una distribuzione logaritmica normale. L'appendice B illustra il procedimento con un esempio.

10.9 Determinazione del valore caratteristico nominale della resistenza $R_{k,nom}$

Il valore caratteristico nominale della resistenza $R_{k,nom}$ deve essere calcolato dal valore caratteristico base $R_{k,b}$ con l'equazione (13). Il fattore parziale di sicurezza γ_{R2} deve essere considerato in funzione di \bar{q}_e da 10.5.

$$R_{k,nom} = \frac{R_{k,b}}{Y_{R2}} \quad (13)$$

progetto 4 Fattori quantili k_{α} (quantile: 5%; livello di confidenza: 75%)

n			3	4	5	6	7	8	9	10
k_{α}			3,15	2,68	2,46	2,33	2,25	2,19	2,14	2,1
n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
k_{α}	2,07	2,05	2,03	2	1,99	1,98	1,96	1,95	1,94	1,93
n	21	22	23	24	25	30	35	40	45	50
k_{α}	1,92	1,92	1,91	1,90	1,90	1,87	1,85	1,83	1,82	1,81

Figura 10.9-1

10.10 Valutazione del gioco, rigidezza

I risultati del terzo ciclo di carico ciclico, rispettivamente i risultati seguenti il terzo ciclo, devono essere considerati per la valutazione del gioco e della rigidezza.

Il gioco originale, d_0 , (vedere figura 4) deve essere determinato come segue.

Quando il tipo di curva corrisponde alla figura 1, il gioco originale deve essere ottenuto estrapolando le curve di carico-deformazione sull'asse orizzontale, come illustrato in figura 4. La distanza tra due punti di intersezione deve essere considerata come due volte il gioco originale. Si deve utilizzare il valore medio ottenuto da un minimo di cinque prove.

Quando il tipo di curva corrisponde alla figura 2, il gioco originale è zero.

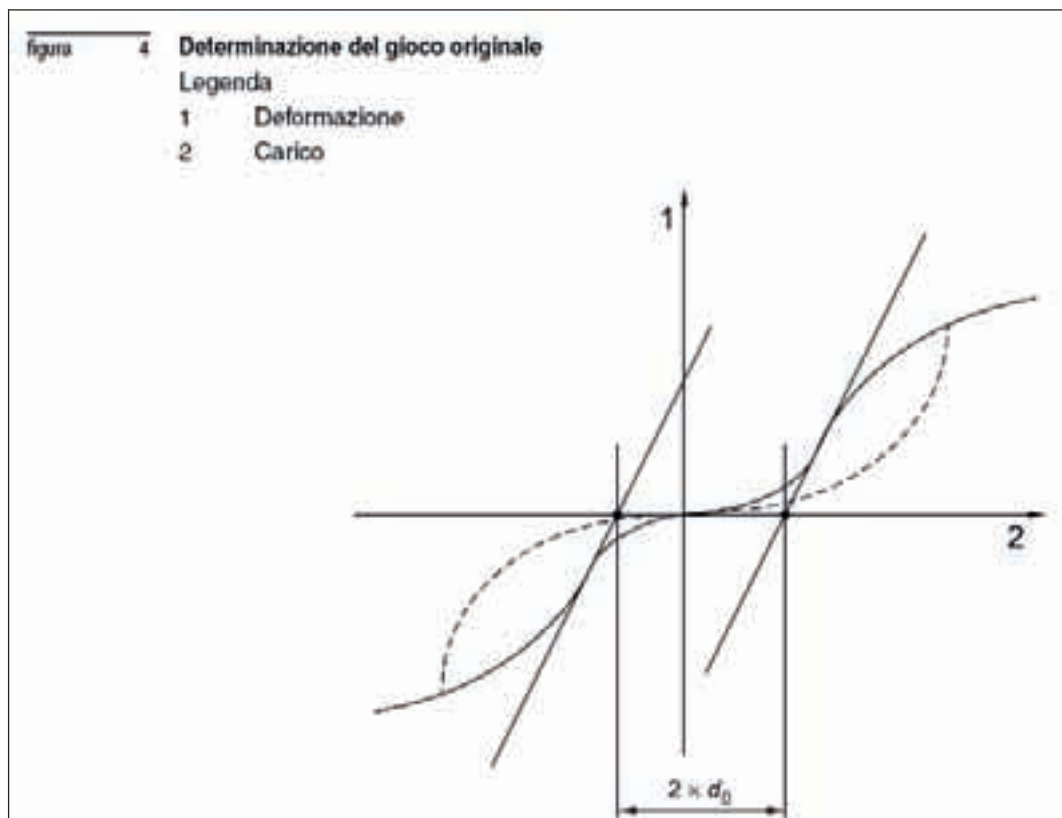


Figura 10.10-1

Quando il tipo di curva corrisponde alla figura 1, le funzioni di approssimazione per le n serie di prove devono essere utilizzate per valutare (vedere figura 1 e figura 5):

- la curva media $R_{l_0,mean}$ (BEF) di tutte le curve di carico;
- la curva media $R_{ul,mean}$ (DE) di tutte le curve di scarico a partire dal punto E o in sua prossimità; normalmente si possono utilizzare le curve approssimate;
- la curva (CE) a metà tra $R_{l_0,mean}$ ed $R_{ul,mean}$.

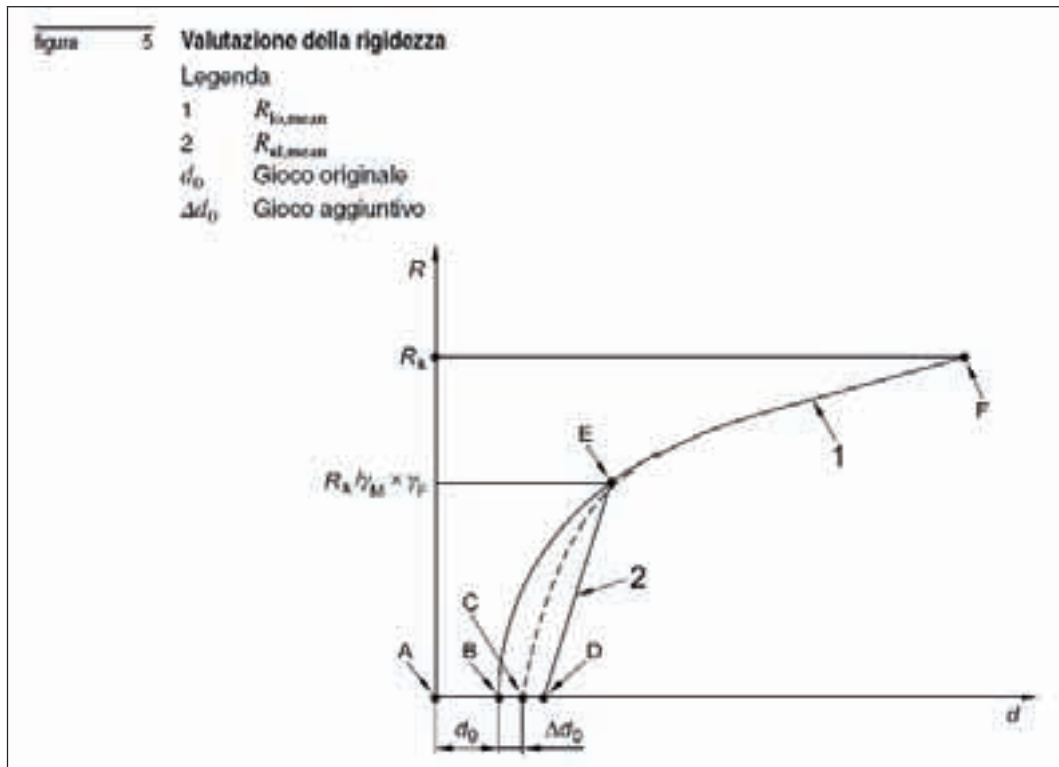


Figura 10.10-2

Quando il tipo di curva corrisponde alla figura 2, si possono utilizzare: la linea retta tra il punto zero e il valore medio di E_p , e la linea retta tra il punto zero ed E_m .

Le parti (CE) nonché (EF) delle curve possono essere linearizzate mediante corde.

Le relazioni di rigidezza risultanti devono essere utilizzate come la caratteristica di carico-deformazione per i calcoli statici.

Secondo il coefficiente di variazione v_x della rigidezza c_i [vedere equazione (14)], il valore caratteristico della rigidezza deve essere determinato in conformità a quanto segue:

Coefficiente di variazione v_x	Valore caratteristico della rigidezza c_k
$v_x \leq 0,10$	1
$0,10 < v_x \leq 0,20$	$0,9 \cdot 1$
$0,20 < v_x \leq 0,30$	$0,8 \cdot 1$
$0,30 < v_x \leq 0,40$	$0,7 \cdot 1$
$0,40 < v_x$	configurazione da riprogettare

In entrambi i casi (figura 1 e figura 2), le stesse relazioni di rigidezza possono essere utilizzate in direzione di carico positiva e negativa finché l'inclinazione linearizzata nella direzione di carico positiva tra C_p ed E_p (vedere figura 5), l'inclinazione linea rizzata tra il punto zero ed E_p (vedere figura 2) e l'inclinazione linearizzata nella direzione di carico negativa tra C_m ed E_m (analogamente alla figura 5) o l'inclinazione linea

rizzata tra il punto zero ed E_m (analogamente alla figura 2), non differiscono in misura maggiore del 10% (vedere equazione 15).

In questo contesto, l'indice "p" etichetta la direzione di carico positiva, l'indice "m" quella negativa. Il doppio indice "pp" o "mm" etichetta i valori medi dalle n prove eseguite.

$$v_x = \frac{s_x}{\bar{x}} \quad (14)$$

dove:

s_x è lo scostamento tipo per n risultati di prova;

\bar{x} è il valore medio degli n risultati di prova c_{pi} , c_{mi}

dove la lettera p etichetta la direzione di carico positiva e la lettera m etichetta la direzione di carico negativa

$$\left| \frac{|\bar{c}_{pp}| - |\bar{c}_{mm}|}{|\bar{c}_{pp}| + |\bar{c}_{mm}|} \right| * 100 \leq 10 \quad (15)$$

Quando l'equazione (15) è rispettata, la linea retta tra E_p ed E_m può essere utilizzata per il tipo di curve indicate in figura 2.

Per la determinazione delle curve medie, si deve utilizzare la deformazione lungo le linee di resistenza costante. Durante il calcolo della media delle rigidzze, si devono utilizzare i valori reciproci.

L'appendice C illustra il procedimento con un esempio.

