



Prove di flessione su 4 punti su elementi contenenti giunto Drytech



Richiedente: Drytech S.r.l.

Responsabili:

Prof. Gianpaolo Rosati

Ing. Sara Cattaneo

G. Rosati
Sara Cattaneo



INDICE

1. Introduzione	3
2. Identificazione dei campioni	3
3. Procedura di prova	9
4. Risultati delle prove	12
4.1 Prova DRY 1	12
4.2 Prova DRY 2	13
4.3 Prova DRY 3	16
4.4 Prova DRY 4	18
5. Discussione dei risultati	20
6. Conclusioni.....	24
Appendice.....	25
<i>Prove sul calcestruzzo</i>	25
<i>Prove su acciaio d'armatura</i>	26

1. Introduzione

La presente relazione riporta i risultati di un'indagine sperimentale finalizzata ad indagare il comportamento a taglio di fondazioni contenenti giunti "Drytech".

Il giunto è costituito da un profilo in plastica di forma trapezoidale ed è impiegato per la formazione mirata di fessure e per l'impermeabilizzazione delle stesse per mezzo di iniezione di resina elastica espansiva. Per queste caratteristiche è utilizzato per la creazione di giunti in strutture di fondazione.

Al fine di indagare il comportamento a taglio sono stati confezionati quattro campioni in c.a. (dimensioni 100cmx50cmx350cm) rappresentativi di una porzione di fondazione.

I quattro campioni si differenziavano per la presenza o meno di giunto Drytech e/o ripresa di getto, e sono stati sottoposti a prova di flessione su 4 punti.

La configurazione di prova è stata scelta in modo tale da avere una luce di taglio (a/d) pari a 2.5, valore in corrispondenza del minimo della resistenza dell'elemento per effetto del taglio. L'obiettivo della campagna sperimentale era quello di verificare se, in una tipica fondazione, la sezione di giunto inducesse eventuali rotture per taglio.

Le prove sono state effettuate nel mese di Marzo 2008 presso il Laboratorio Prove Materiali del DIS- Politecnico di Milano. I risultati sono sinteticamente riportati nel Certificato N. 2008/883/1.

2. Identificazione dei campioni

I campioni hanno le seguenti dimensioni: 100cm x 50cm x 350cm e si differenziano per la presenza o meno di giunti e/o riprese di getto.

I dettagli sono riportati nelle Fig.2.1.

I codici attribuiti ai singoli provini sono i seguenti:

- DRY 1: trave di riferimento priva di giunti
- DRY 2: trave con giunto "Drytech" con orientamento destro
- DRY 3: trave con giunto "Drytech" con orientamento sinistro
- DRY 4: trave con giunto "Drytech" con orientamento destro e ripresa di getto.

Il giunto "Drytech" denominato dall'azienda DRYset EFP (Elemento di Fessurazione Programmata), è un profilo in plastica di forma trapezoidale (Fig.2.2), con un condotto d'iniezione mediano.

Le travi sono state gettate in data 13/2/2008, mentre il secondo getto della trave DRY4 è stato eseguito in data 15/2/2008. Alcuni dettagli delle armature sono mostrati in Figura 2.3.

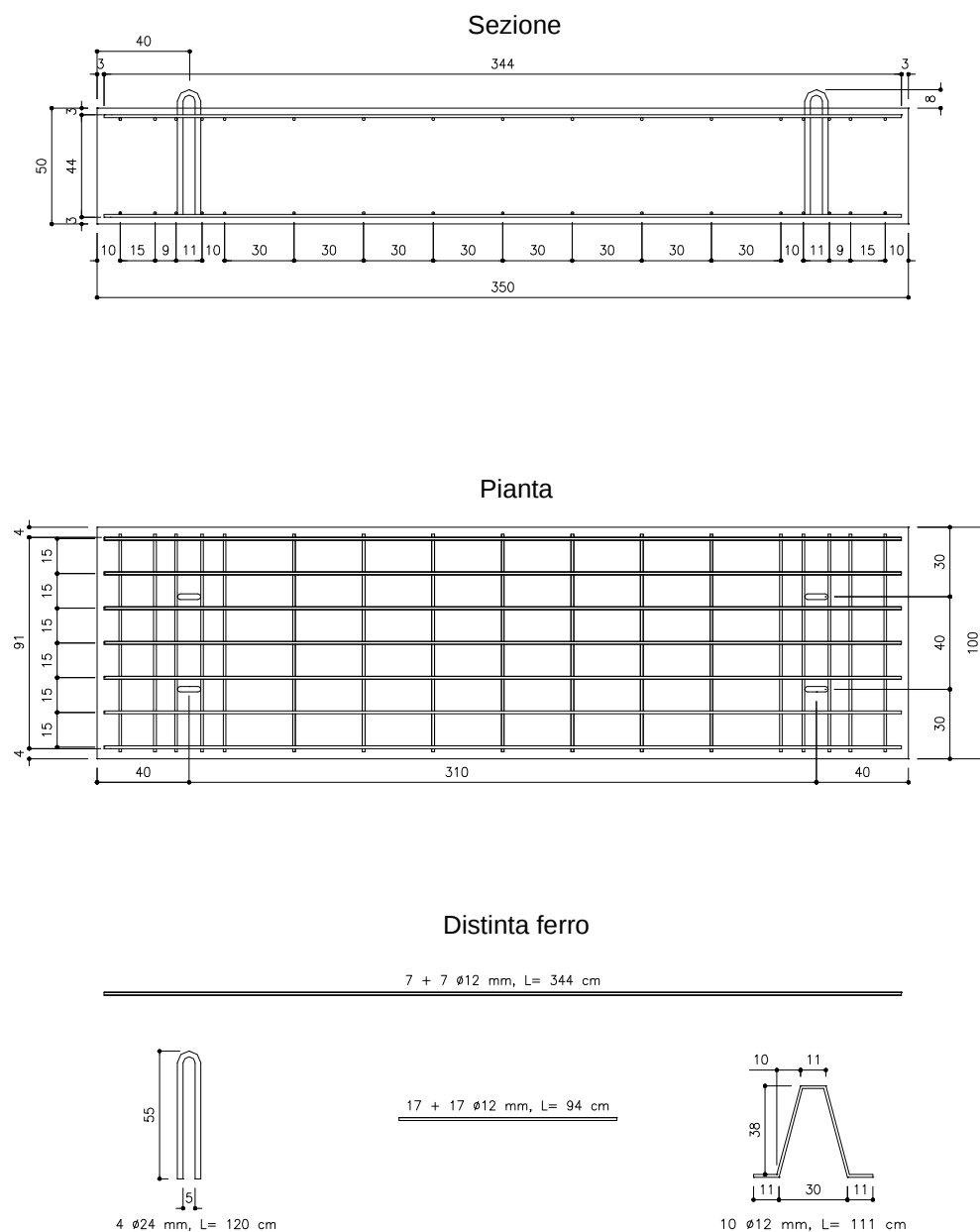


Figura 2.1a – Trave DRY 1: trave di riferimento priva di giunti.

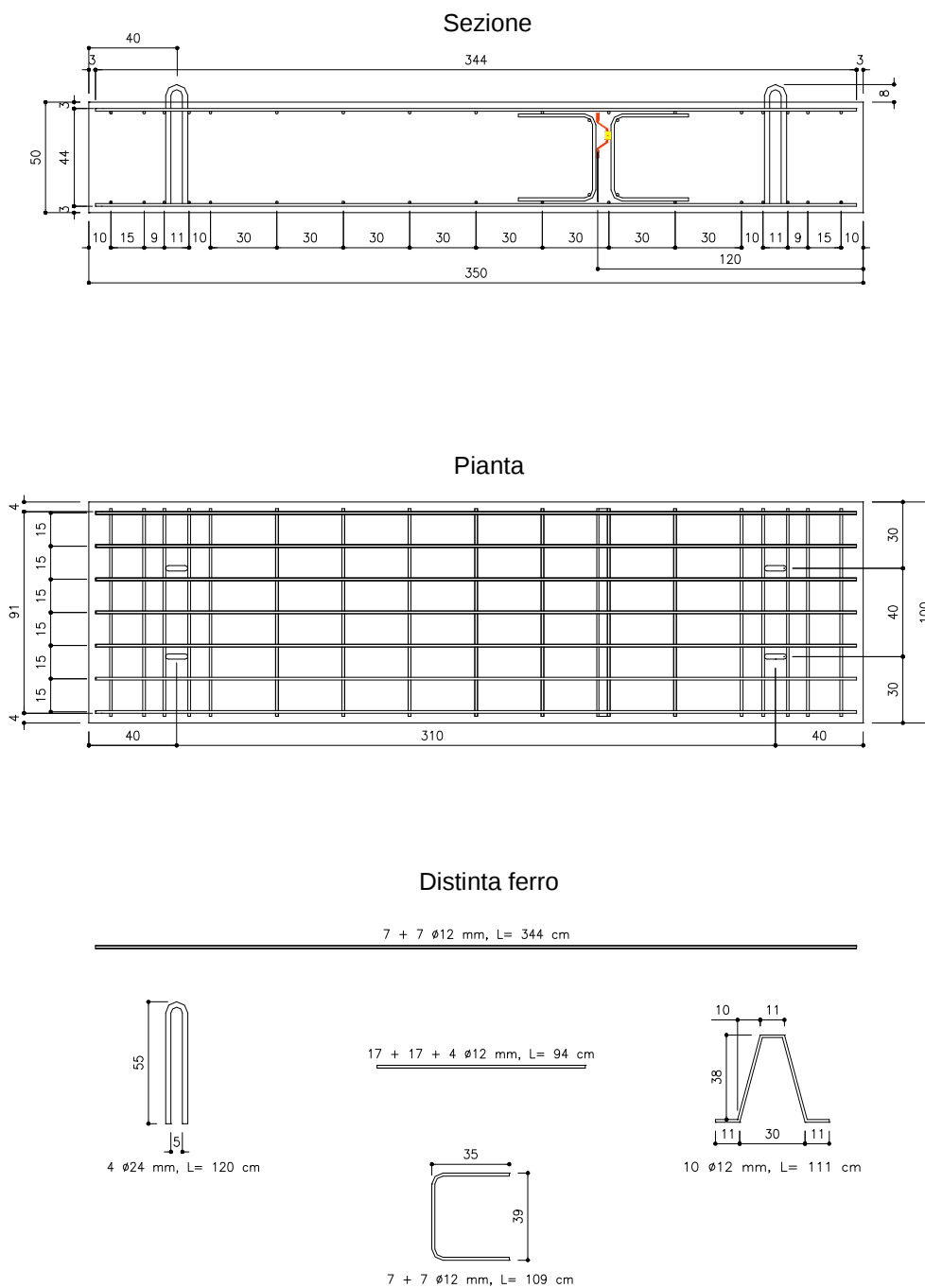


Figura 2.1b – Trave DRY 2: trave con giunto “Drytech” con orientamento destro.

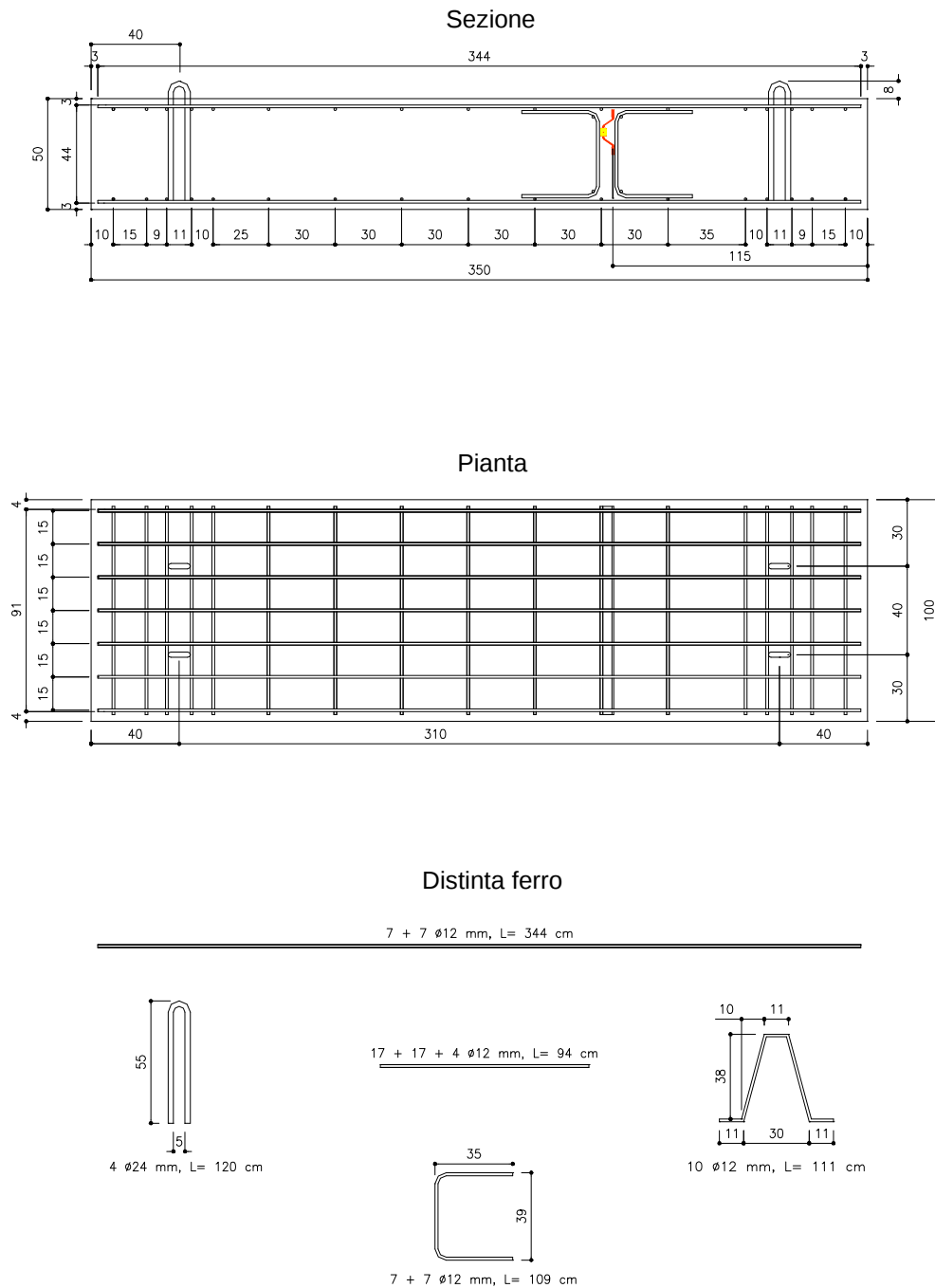


Figura 2.1c – Trave DRY 3: trave con giunto “Drytech” con orientamento sinistro.

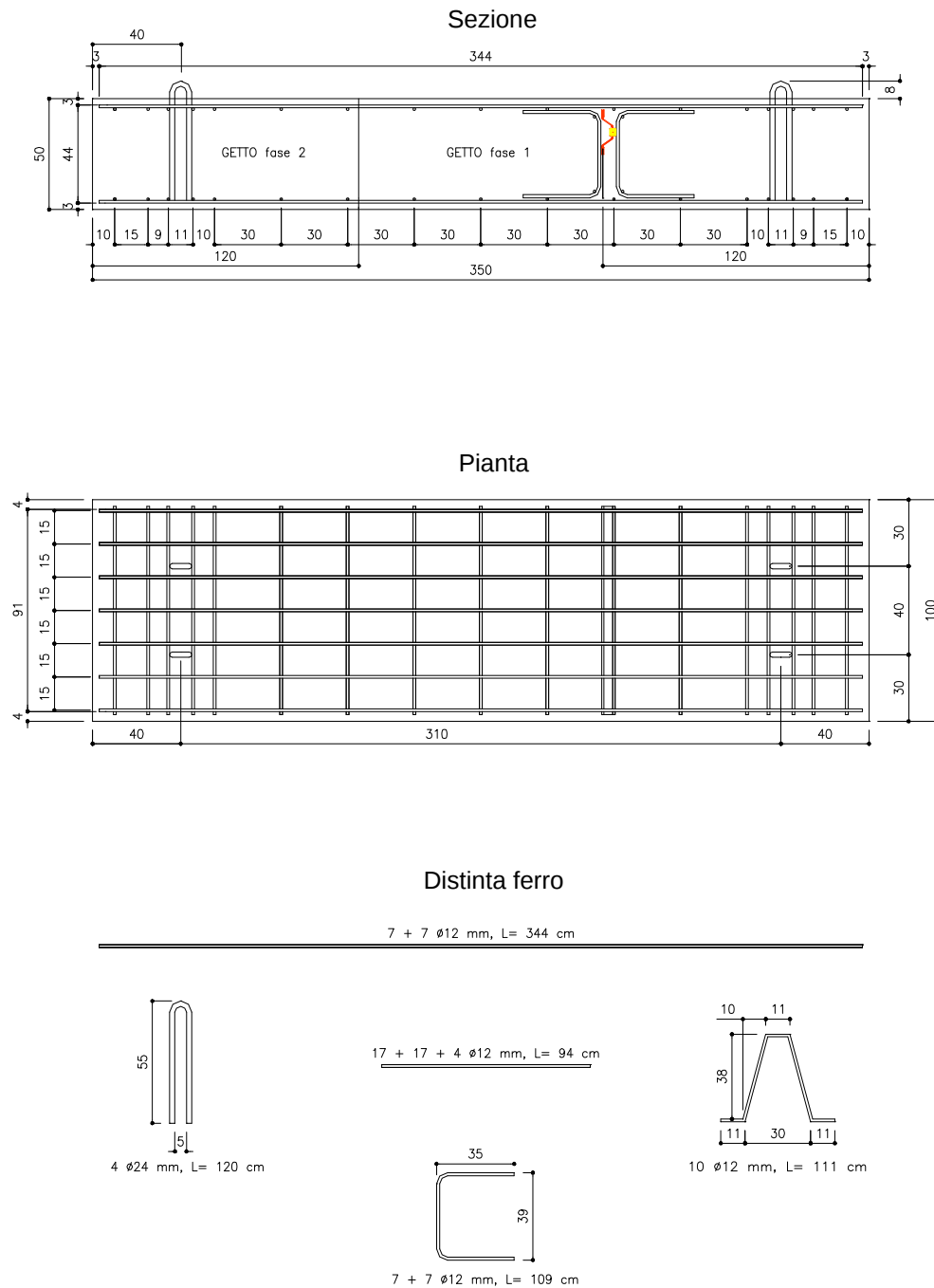


Figura 2.1d – Trave DRY 4: trave con giunto “Drytech” con orientamento destro e ripresa di getto.



Figura 2.2-Geometria del giunto “Drytech” – Dryset EFP.



Figura 2.3-Dettagli armature e fase di getto.

3. Procedura di prova

I campioni sono stati sottoposti a prova di flessione su 4 punti secondo lo schema mostrato in Figura 3.1. Il carico è stato applicato mediante martinetto MTS da 1000kN e con un ripartitore di carico (Figura 3.2). Le prove sono state condotte in controllo di spostamento con una velocità di 0.02mm/s. E' stato effettuato un primo ciclo di carico fino al valore di 65kN (carico equivalente a quello di esercizio considerando anche il peso proprio del prototipo), poi è stata effettuata una seconda rampa di carico fino al termine della prova.

Il rapporto tra la luce di taglio e l'altezza utile della sezione è stato assunto pari a circa 2.5, al fine di indagare il comportamento a taglio degli elementi in assenza di armature trasversali. Il giunto e/o la ripresa di getto sono stati posizionati ad una distanza di 5 cm dal coltello di carico nella zona a taglio costante.

Le travi sono state armate e gettate secondo le condizioni reali (da sopra) per simulare una porzione di fondazione. A tal fine, essendo la fondazione sollecitata dalla spinta dell'acqua dal basso, le travi sono state capovolte.

Non è stata capovolta la trave DRY1 (Riferimento) essendo tale trave armata simmetricamente. Tuttavia a seguito della maggior resistenza osservata si è proceduto alla rimozione parziale del calcestruzzo per verificare l'esatta posizione dei ferri all'interno della trave. Mentre nella trave di riferimento la presenza di distanziatori ha permesso di mantenere il copriferro nominale di 35mm, nelle travi che poi sono state capovolte il copriferro ha raggiunto valori pari a circa 80mm con evidente diminuzione del braccio della coppia interna che in questo caso condiziona il valore della resistenza massima dell'elemento.

Oltre al carico e allo spostamento dell'attuatore (Stroke) sono stati misurati gli spostamenti nella sezione di mezzeria (frecce) in prossimità dei bordi della trave.

Su una delle due facce laterali del provino sono stati posizionati da un minimo di 2 ad un massimo di 10 trasduttori di spostamento come mostrato in Figura 3.3.

Su tutte le travi sono stati posizionati orizzontalmente a cavallo della sezione di mezzeria due trasduttori (base di misura 300mm) ad una distanza pari a circa 35mm dal lembo superiore ed inferiore del campione. In tal modo è stato possibile monitorare gli allungamenti e/o gli accorciamenti nei due correnti.

Analogamente a cavallo delle sezioni del giunto e/o della ripresa di getto sono stati posizionati orizzontalmente due strumenti per misurare gli spostamenti in prossimità di tali sezioni (Fig.3.3). Inoltre sono stati posizionati verticalmente ulteriori 2 trasduttori con le basi

posizionate in modo tale da misurare lo spostamento relativo nella sezione del giunto e/o ripresa di getto (Fig.3.3).

Tutti i dati sono stati acquisiti elettronicamente con centraline di acquisizione HBM Spider 8. Al fine di caratterizzare il materiale sono state effettuate prove di compressione su 4 cubi (lato 150mm) e su 3 cilindri (diametro 150mm altezza 300mm) (secondo UNI-EN 12390-3), modulo elastico (secondo UNI 6556), e flessione su 4 punti su 2 travetti (150mmx150mmx600mm) (secondo UNI-EN 12390-5).

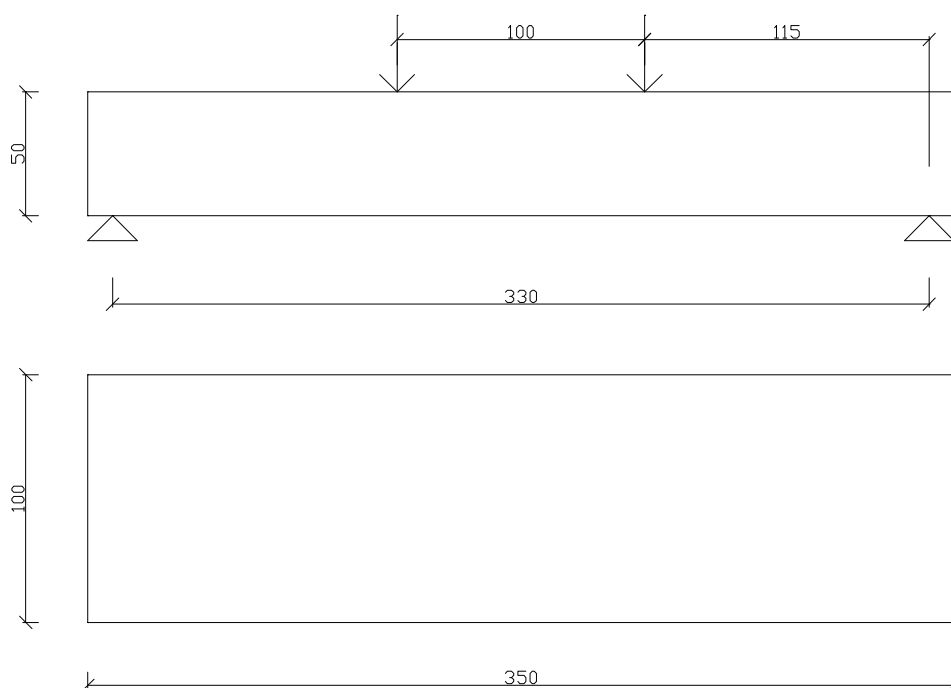


Figura 3.1 - Schema configurazione di prova (misure in cm).



Figura 3.2 - Configurazione di prova.

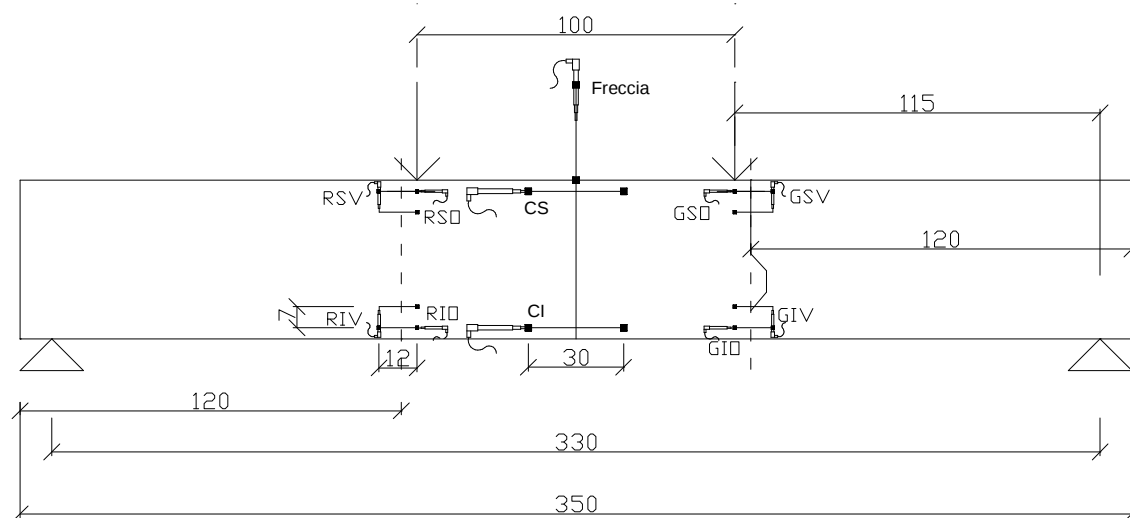


Figura 3.3 - Schema posizione strumenti di misura (misure in cm).



Figura 3.4 - Strumentazione sulla trave DRY4.

4. Risultati delle prove

Prova DRY 1

La Prova DRY 1 è relativa al prototipo di riferimento privo di giunti (Figura 2.1a).

Il momento massimo registrato è stato pari a 242.94 kNm, considerando anche il momento fornito dal peso proprio del campione pari a 17 kNm.

In Figura 4.1.1 sono riportate le curve momento-spostamento relative alle due frecce misurate e allo spostamento dell'attuatore (stroke). Nei grafici seguenti è indicato il momento d'esercizio Mes.

In Figura 4.1.2 sono riportate una vista d'insieme della prova e un dettaglio della zona fessurata in corrispondenza del carico massimo. Si osserva che le fessure sono per lo più concentrate nella zona centrale soggetta a momento costante, mentre non appaiono fessure diagonali per taglio.

In Figura 4.1.3(sinistra) sono riportate le curve momento-spostamento dei trasduttori centrali posizionati a cavallo della sezione di mezzeria. Lo strumento centrale inferiore misura lo spostamento (apertura delle fessure) sulla base di misura di 300mm (gli allungamenti sono assunti negativi e gli accorciamenti positivi). Lo strumento superiore misura lo spostamento del corrente compresso. Tale misura è adimensionalizzata sulla base di misura di 300mm e riportata in Figura 4.1.3 (destra).

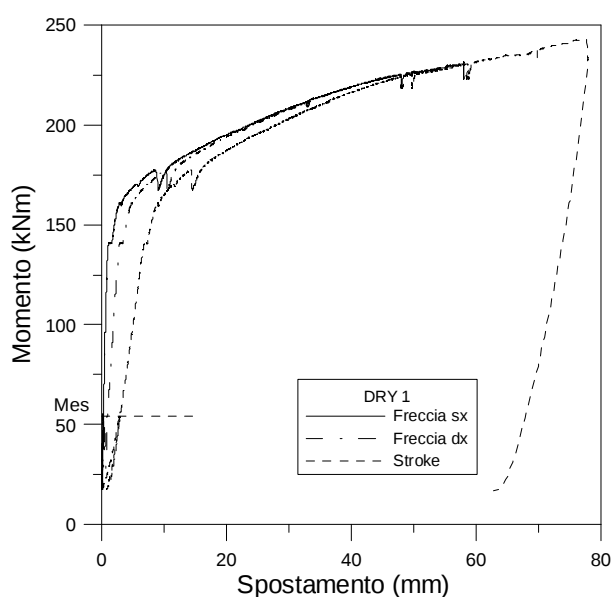


Figura 4.1.1 – Prova DRY 1: Curve Momento- Spostamento.

Dai grafici appare evidente che una prima fessurazione nelle zone monitorate avviene per livelli di momento prossimi a 139kNm.

Si osserva inoltre che per momenti prossimi a 200kNm l'accorciamento misurato nel corrente compresso ha un'inversione di tendenza, indicando che per tale momento l'asse neutro si è spostato al di sopra dello strumento di misura (posto a 35mm al di sotto del lembo superiore della trave).



Figura 4.1.2 – Prova DRY 1: campione soggetto a carico massimo.

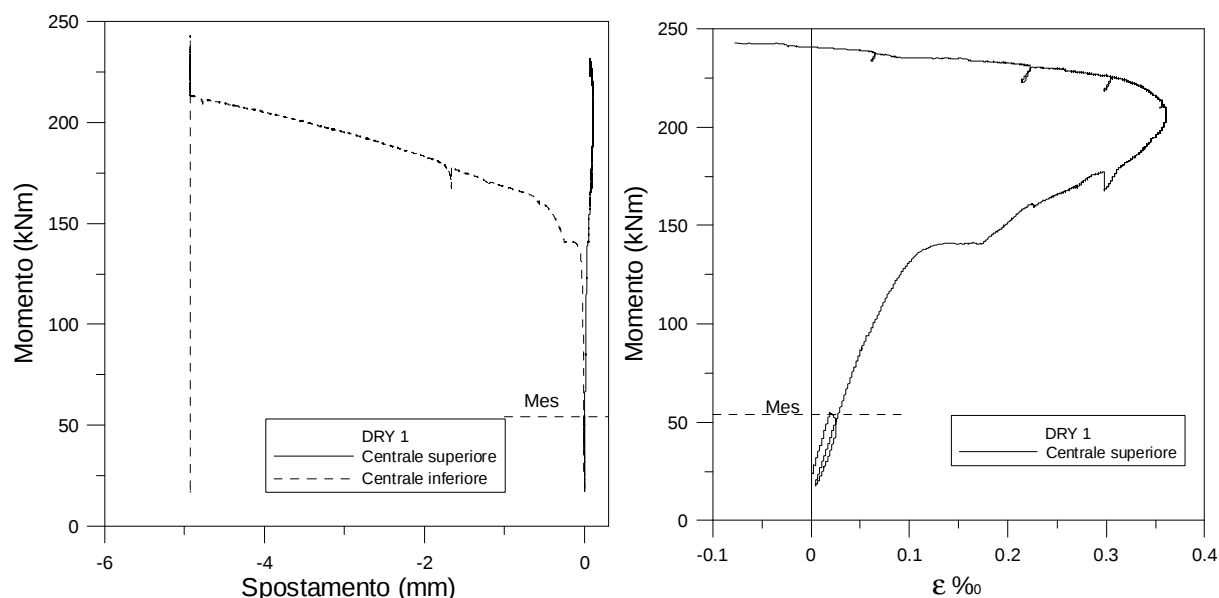


Figura 4.1.3 – Prova DRY 1: Momento-spostamento strumenti centrali- Momento-deformazione cent. superiore.

Prova DRY 2

La Prova DRY 2 è relativa al prototipo con giunto DRYTECH dx (con giunto in posizione destra-Figura 2.1b).

Il momento massimo registrato è stato pari a 206.96 kNm, considerando anche il momento

fornito dal peso proprio del campione pari a 17 kNm.

In Figura 4.2.1 sono riportate le curve momento-spostamento relative alle due frecce misurate e allo spostamento dell'attuatore (stroke).

In Figura 4.2.2 sono riportate una vista d'insieme della prova e un dettaglio della zona fessurata in corrispondenza del carico massimo. Si osserva che le fessure sono per lo più concentrate nella zona centrale soggetta a momento costante, mentre non appaiono fessure diagonali per taglio.

In Figura 4.2.3(sinistra) sono riportate le curve momento-spostamento dei trasduttori centrali posizionati a cavallo della sezione di mezzeria. Lo strumento centrale inferiore misura lo spostamento (apertura delle fessure) sulla base di misura di 300mm (gli allungamenti sono assunti negativi e gli accorciamenti positivi). Lo strumento superiore misura lo spostamento del corrente compresso. Tale misura è adimensionalizzata sulla base di misura di 300mm e riportata in Figura 4.2.3 (destra).

In Figura 4.2.4 sono riportate le curve momento deformazione degli strumenti orizzontali inferiori (sinistra) e degli strumenti verticali (destra) posizionati a cavallo del giunto.

Dal punto di vista fisico non avrebbe significato parlare di deformazioni, in quanto da un certo punto in poi la fessurazione diventa predominante e pertanto sarebbe opportuno considerare spostamenti. Tuttavia si è scelto di rappresentare le deformazioni per adimensionalizzare le misure di spostamento che sono state eseguite su diverse basi di misura (Figura 3.3). L'adimensionalizzazione è stata effettuata sulla base di misura effettiva misurata sul campione e non su quella nominale.

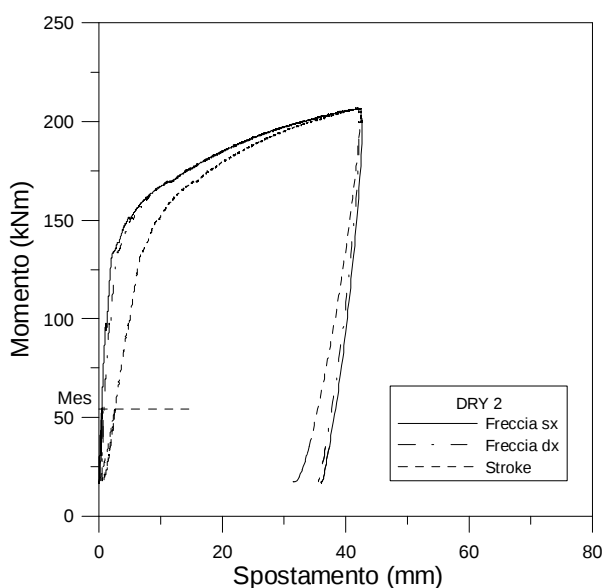


Figura 4.2.1 – Prova DRY 2: Curve Momento- Spostamento.



Figura 4.2.2 – Prova DRY 2: campione soggetto a carico massimo.

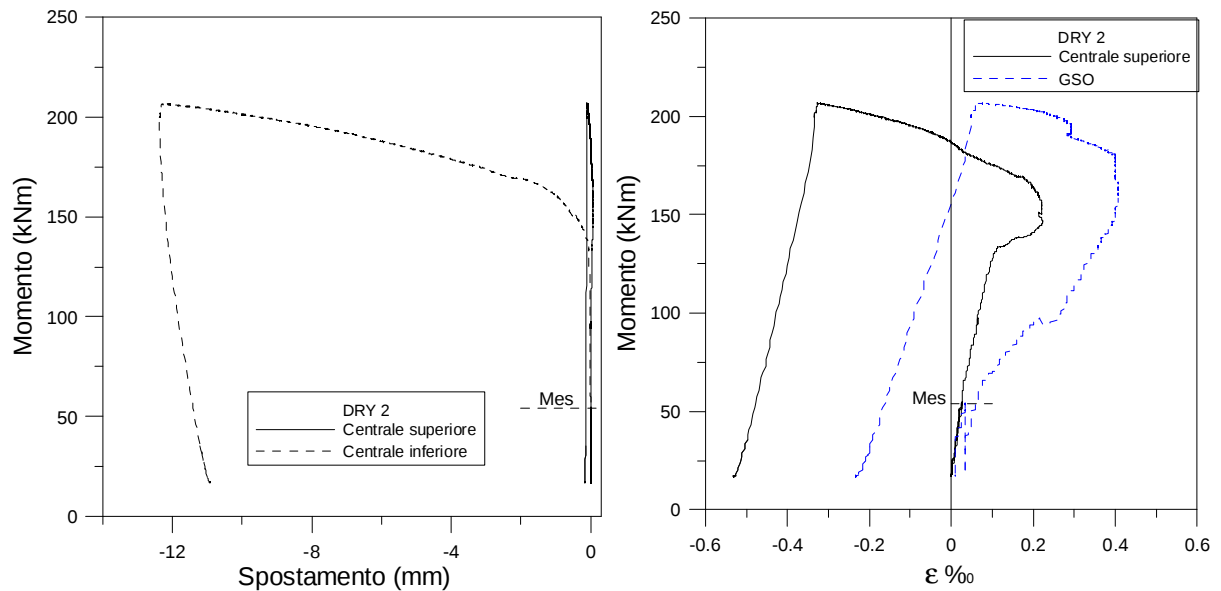


Figura 4.2.3 – Prova DRY 2: Momento-spostamento strumenti centrali- Momento-deformazione cent. superiore.

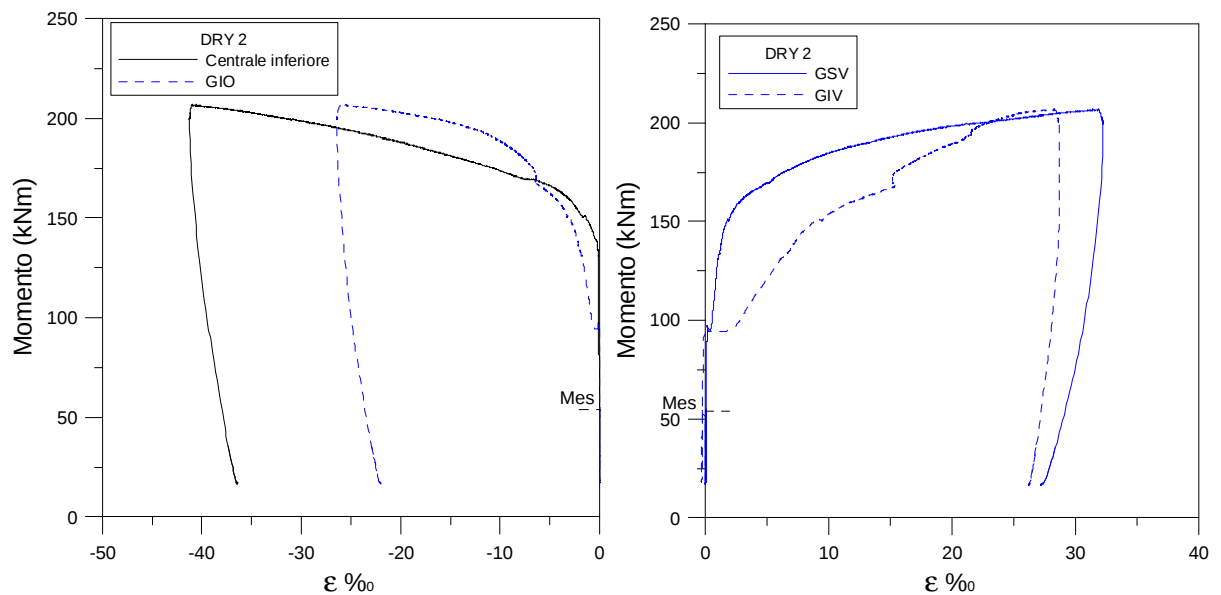


Figura 4.2.4 – Prova DRY 2: Momento-deformazioni strumenti inferiori (sx) e verticali (dx).

Dai grafici degli strumenti inferiori e verticali (Figura 4.2.4) appare che la sezione del giunto inizia a fessurarsi in prossimità di un valore del momento pari a circa 97kNm.

Nella sezione di mezzeria la fessurazione appare invece per un momento di circa 138kNm.

Per quanto riguarda il corrente compresso si osserva che lo strumento posizionato a cavallo della sezione del giunto presenta deformazioni maggiori rispetto a quello centrale. Tale comportamento può imputarsi al fatto che lo strumento è posizionato in prossimità del coltello di carico e pertanto la misura può essere affetta dalla presenza di deformazioni localizzate dovute alla diffusione del carico.

Risulta invece interessante osservare che anche in questo caso si ha un'inversione di tendenza della compressione misurata per valori di momento pari a circa 156kNm per lo strumento centrale e a 168kNm per lo strumento sul giunto.

Prova DRY 3

La Prova DRY 3 è relativa al prototipo con giunto DRYTECH sx (con giunto in posizione sinistra-Figura 2.1c).

Il momento massimo registrato è stato pari a 206.64 kNm, considerando anche il momento fornito dal peso proprio del campione pari a 17 kNm.

In Figura 4.3.1 sono riportate le curve momento-spostamento relative alle due frecce misurate e allo spostamento dell'attuatore (stroke).

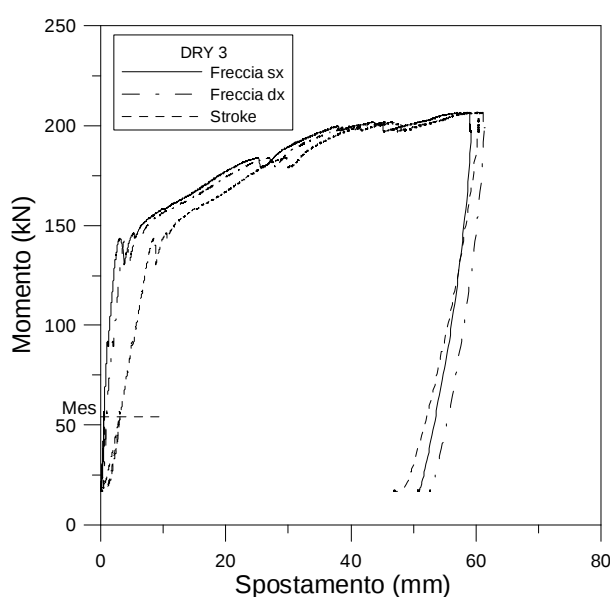


Figura 4.3.1 – Prova DRY 3: Curve Momento- Spostamento.

In Figura 4.3.2 sono riportate una vista d'insieme della prova e un dettaglio della zona fessurata in corrispondenza del carico massimo. Si osserva che le fessure sono per lo più concentrate nella zona centrale soggetta a momento costante, mentre non appaiono fessure diagonali per taglio.



Figura 4.3.2 – Prova DRY 3: campione soggetto a carico massimo.

In Figura 4.3.3 (sinistra) sono riportate le curve momento-spostamento dei trasduttori centrali posizionati a cavallo della sezione di mezzeria. Lo strumento centrale inferiore misura lo spostamento (apertura delle fessure) sulla base di misura di 300mm (gli allungamenti sono assunti negativi e gli accorciamenti positivi). Lo strumento superiore misura lo spostamento del corrente compresso. Tale misura è adimensionalizzata sulla base di misura di 300mm e riportata in Figura 4.3.3 (destra).

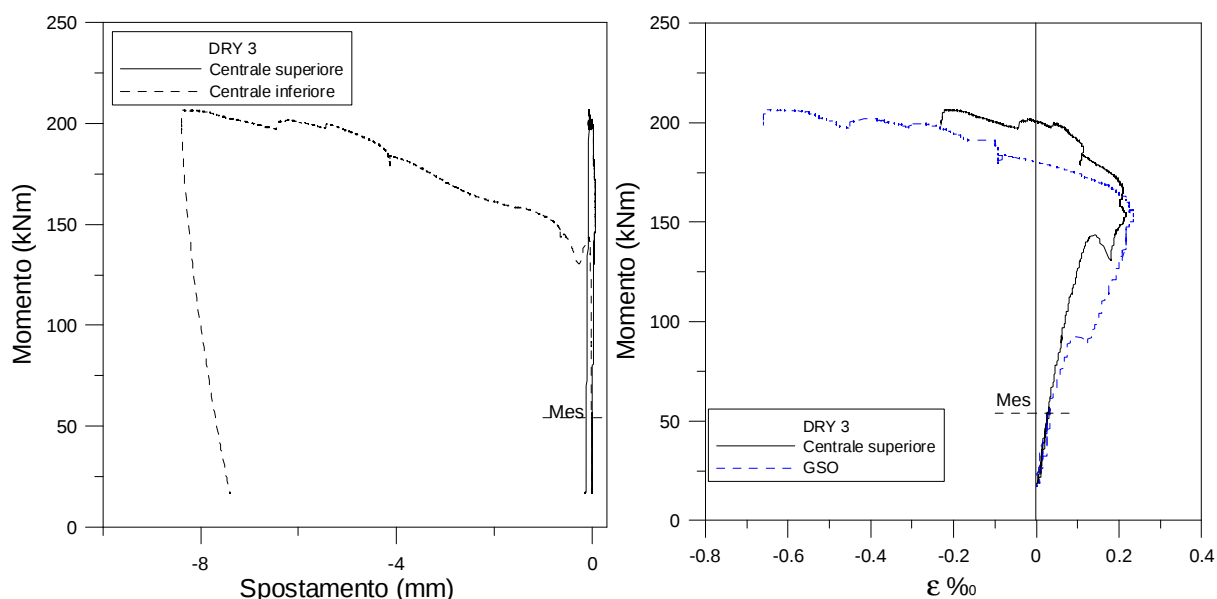


Figura 4.3.3 – Prova DRY 3: Momento-spostamento strumenti centrali- Momento-deformazione str.. superiori.

In Figura 4.3.4 sono riportate le curve momento deformazione degli strumenti orizzontali inferiori (sinistra) e degli strumenti verticali (destra) posizionati a cavallo del giunto.

Dai grafici degli strumenti inferiori e verticali (Figura 4.3.4) appare che la sezione del giunto inizia a fessurarsi in prossimità di un valore del momento pari a circa 92 kNm.

Nella sezione di mezzeria la fessurazione appare invece per un momento di circa 142kNm.

Anche in questo caso si ha un'inversione di tendenza della compressione misurata per valori di momento pari a circa 159kNm.

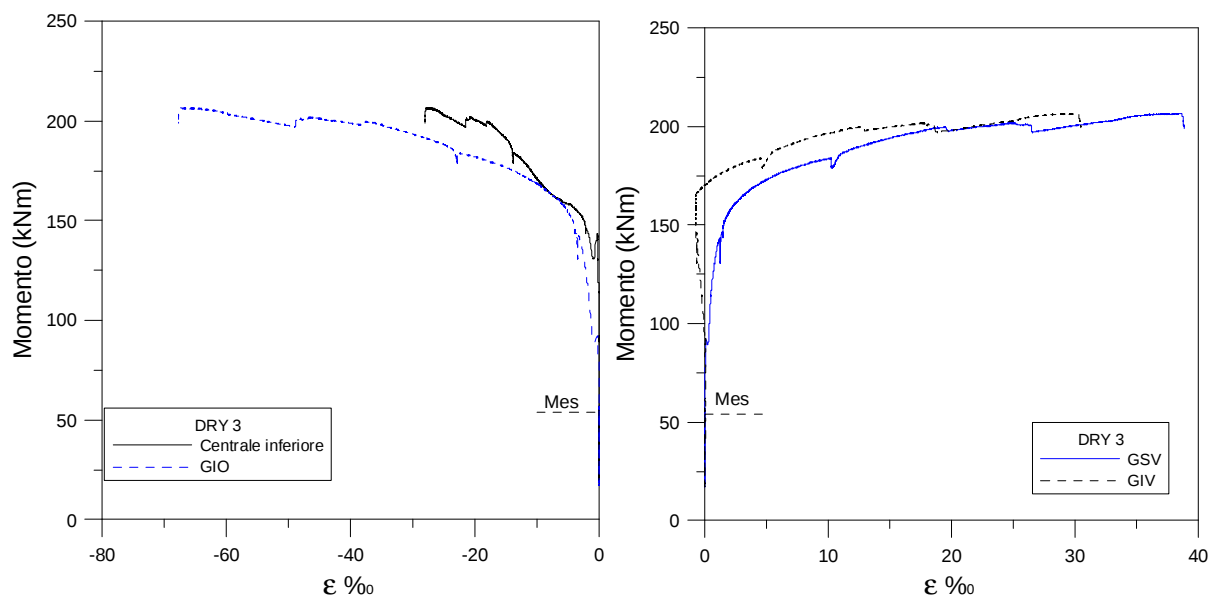


Figura 4.3.4 – Prova DRY 3: Momento-deformazioni strumenti inferiori (sx) e verticali (dx).

Prova DRY 4

La Prova DRY 4 è relativa al prototipo con giunto DRYTECH (con giunto in posizione destra e ripresa di getto-Figura 2.1d).

Il momento massimo registrato è stato pari a 204.08 kNm, considerando anche il momento fornito dal peso proprio del campione pari a 17 kNm.

In Figura 4.4.1 sono riportate le curve momento-spostamento relative alle due frecce misurate e allo spostamento dell'attuatore (stroke).

In Figura 4.4.2 sono riportate una vista d'insieme della prova e un dettaglio della zona fessurata in corrispondenza del carico massimo. Si osserva che le fessure sono per lo più concentrate nella zona centrale soggetta a momento costante, mentre non appaiono fessure diagonali per taglio.

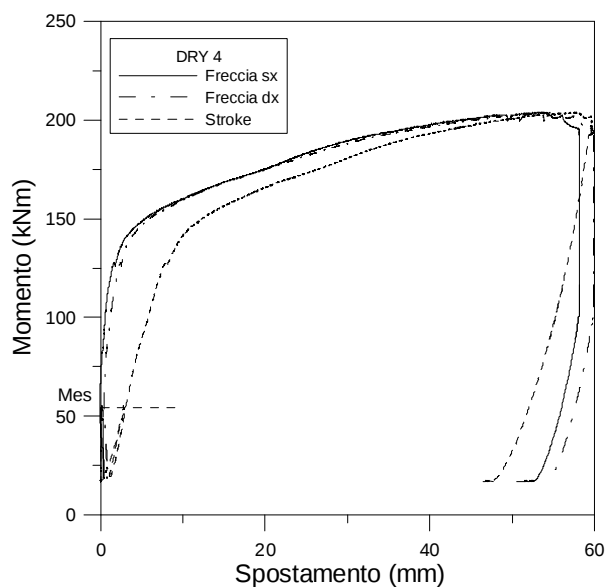


Figura 4.4.1 – Prova DRY4: Curve Momento- Spostamento.



Figura 4.4.2 – Prova DRY 4: campione soggetto a carico massimo.

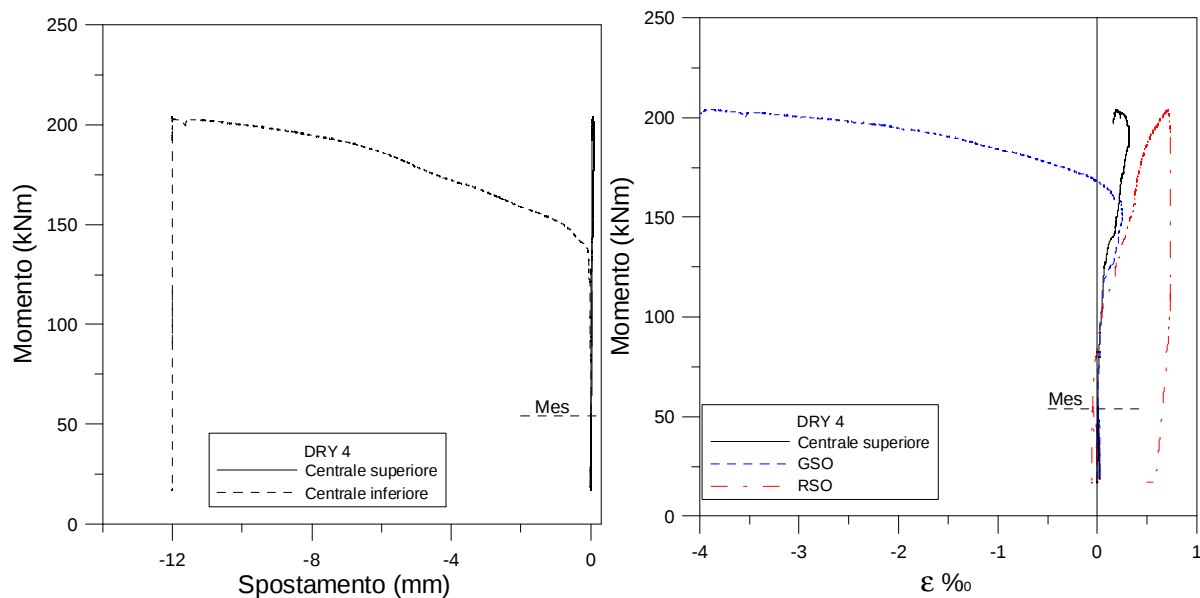


Figura 4.4.3 – Prova DRY 4: Momento-spostamento strumenti centrali- Momento-deformazione str. superiori.

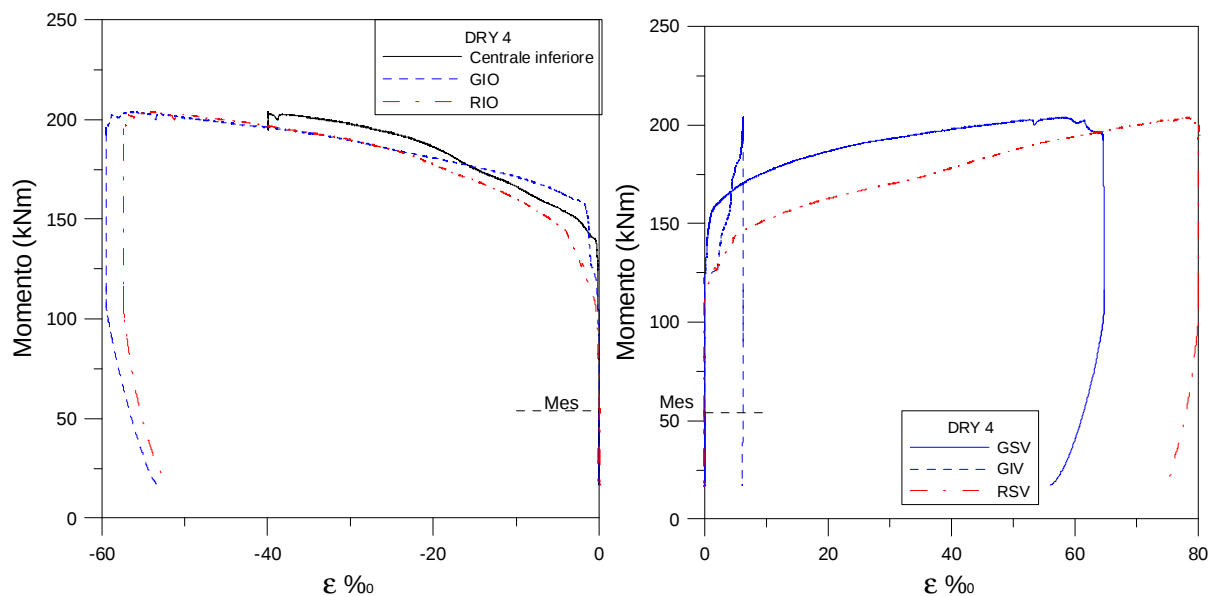


Figura 4.4.4 – Prova DRY 4: Momento-deformazioni strumenti inferiori (sx) e verticali (dx).

In Figura 4.4.3 (sinistra) sono riportate le curve momento-spostamento dei trasduttori centrali posizionati a cavallo della sezione di mezzeria. La misura adimensionalizzata dello strumento al lembo compresso è riportata in Figura 4.4.3 (destra).

In Figura 4.4.4 sono riportate le curve momento deformazione degli strumenti orizzontali inferiori (sinistra) e degli strumenti verticali (destra) posizionati a cavallo del giunto e della ripresa di getto. Lo strumento verticale posizionato al lembo inferiore a cavallo della ripresa di getto non è riportato a causa di un mal funzionamento.

I grafici degli strumenti inferiori e verticali (Figura 4.4.4) evidenziano che la prima fessurazione appare nella sezione del giunto in prossimità di un valore del momento pari a circa 92 kNm, nella sezione della ripresa di getto in prossimità di circa 80kNm, mentre nella sezione di mezzeria per un momento pari a circa 100 kNm.

Nella sezione della ripresa di getto il corrente superiore risulta sempre compresso, mentre nella sezione del giunto si osserva un'inversione di tendenza per valori di momento prossimi a circa 150kNm e nella sezione di mezzeria per valori prossimi a 180kNm.

5. Discussione dei risultati

Le prove effettuate, indipendentemente dalla presenza o meno, all'interno del campione, di giunto Drytech e/o ripresa di getto, hanno mostrato un comportamento duttile e simile tra loro. Si è riscontrato un momento leggermente superiore nella trave di riferimento. Tale incremento di resistenza è da imputarsi al fatto che tale trave è stata testata non capovolta, e pertanto l'altezza utile è risultata maggiore rispetto a quella delle altre travi, in cui l'errato

posizionamento dei ferri superiori (che in fase di prova sono stati posti al lembo inferiore) ha portato ad una riduzione dell'altezza utile. Per considerare questo effetto, il momento della trave DRY1 riportato nei grafici seguenti è stato ridotto del 10% (rapporto tra l'altezza utile della trave DRY1 e quello delle altre travi pari a circa 1.10). In Figura 5.1 è riportato il grafico momento-freccia media di tutte le prove. La Figura 5.1 (sotto) presenta il dettaglio dello stesso grafico per spostamenti fino a 10mm, al fine di permettere una miglior lettura dei risultati nella fase di esercizio.

In Figura 5.2 sono riportate le rotazioni misurate nella sezione di mezzeria (stumenti centrali). Si osserva che tutti i campioni si sono comportati in modo analogo. Nessuna trave ha mostrato rotture fragili per taglio, come evidenziato anche dagli schemi dei quadri fessurativi riportati in Figura 5.3.

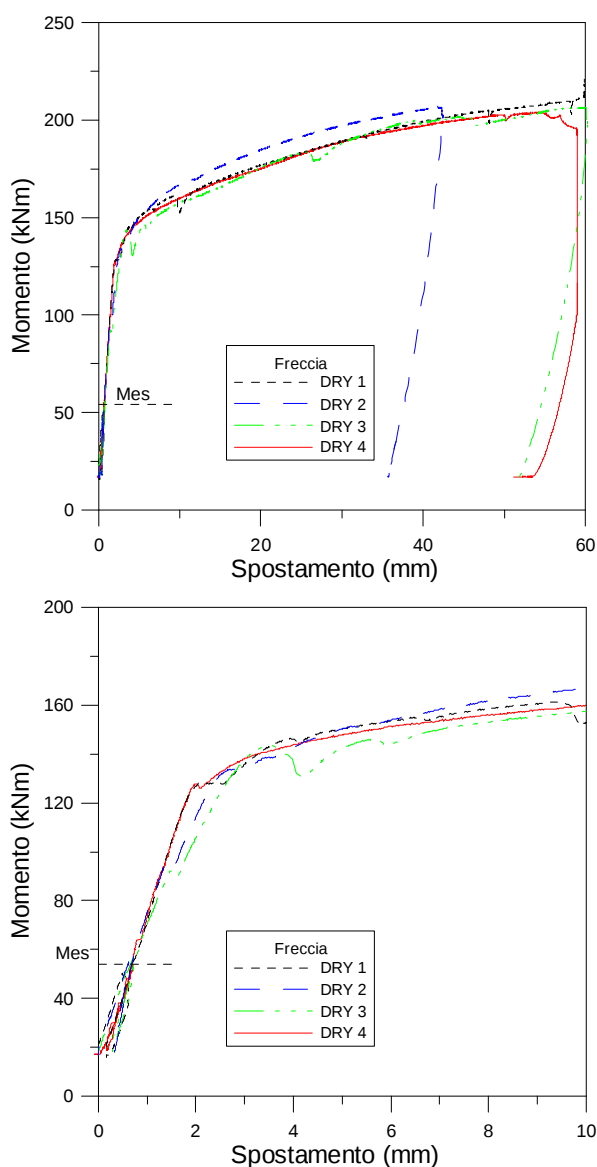


Figura 5.1 – Momento-freccia: confronto tra le diverse prove-totale (sopra) fino a 10mm (sotto).

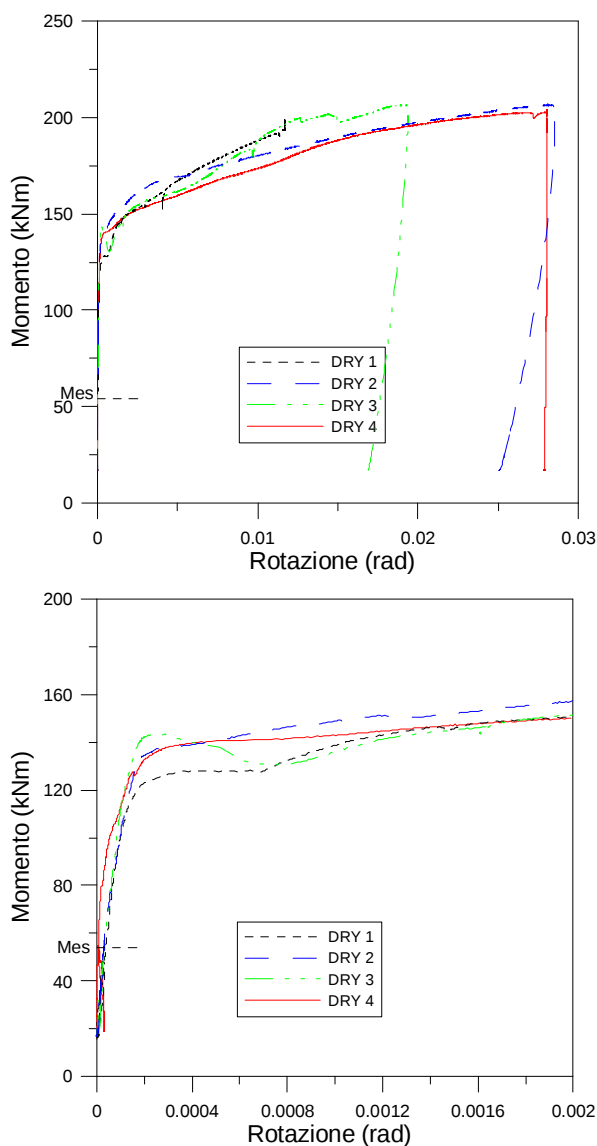
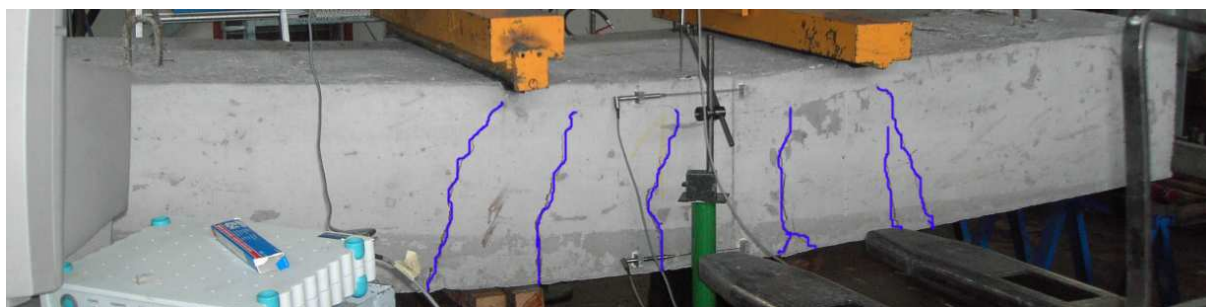


Figura 5.2 – Momento-rotazione: confronto tra le diverse prove-totale (sopra) fino a 0.002rad (sotto).

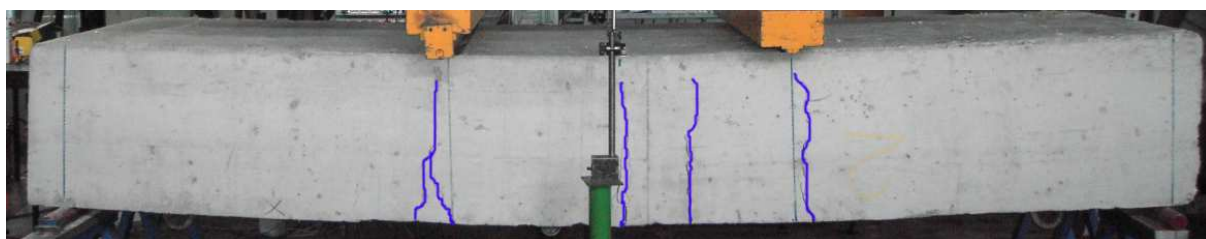
Nella fase di esercizio non vi è alcuna differenza mentre, come esposto nei paragrafi precedenti vi sono alcune diversità nei livelli di momento di prima fessurazione osservati sperimentalmente. In Tabella 5.1 sono riportati i valori sperimentali del momento di prima fessurazione della sezione centrale, del giunto e della ripresa di getto.

Appare evidente che i campioni indipendentemente dalla presenza o meno di giunto e/o ripresa di getto si comportano in modo analogo, con una buona ripetibilità dei risultati, ad eccezione del caso di ripresa di getto, in cui la numerosità è pari a 1.

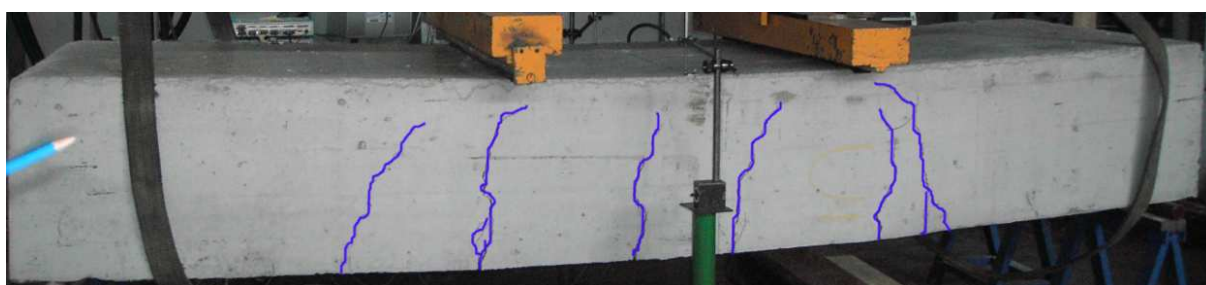
La ripresa di getto sembra essere la sezione, tra quelle considerate, in cui appare la prima fessurazione per un valore di momento minore (comunque pari a 1.47 il momento di esercizio).



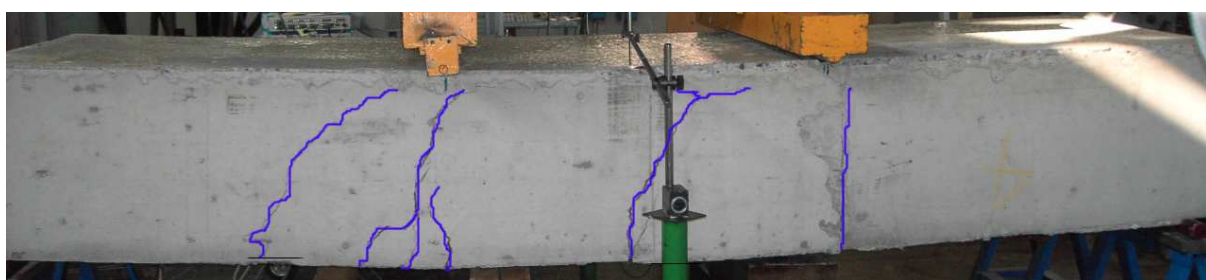
DRY 1



DRY 2



DRY 3



DRY 4

Figura 5.3 – Quadri fessurativi dei diversi campioni.

Tabella 5.1 – Momento di prima fessurazione sperimentale

Campione	Centrale (kNm)	Giunto (kNm)	Ripresa di getto (kNm)
DRY 1	139	-	-
DRY 2	138	97	-
DRY 3	142	92	-
DRY 4	128	92	80



6. Conclusioni

La campagna sperimentale condotta ha evidenziato che la presenza di giunto Drytech e/o di ripresa di getto, all'interno dei campioni testati non ha alterato il comportamento globale dell'elemento.

Il comportamento è stato di tipo duttile e, come evidenziato dai quadri fessurativi, non vi sono problematiche connesse a sollecitazioni taglienti.

Il monitoraggio ha evidenziato che, tra le sezioni considerate, quella della ripresa di getto è sede di prima fessurazione. Tale fenomeno avviene comunque per valori di carico ben oltre quelli di esercizio.

I risultati ottenuti sono estendibili ad altre sezioni purché sia mantenuto il rapporto meccanico d'armatura.

Sulla base di quanto emerso dalle prove sperimentali, le considerazioni sviluppate per i casi di travi con giunto Drytech in un'unica soluzione di getto, possono essere estese anche per il caso in cui questo venga utilizzato come cassero a perdere, rappresentando sezione di ripresa di getto.

Appendice

Prove sul calcestruzzo

Al fine di caratterizzare le proprietà meccaniche del calcestruzzo sono state eseguite le seguenti prove:

- Nr 4 prove di compressione su cubi (lato 150mm)
- Nr 3 prove di compressione cilindri (diametro 150mm altezza 300mm)
- Nr 1 modulo elastico su cilindro (diametro 150mm altezza 300mm)
- Nr 2 prove di flessione su 4 punti su travetti (150mmx150mmx600mm).

I risultati delle singole prove sono riportati nelle Tabelle A.1-3.

La resistenza media cubica a compressione è risultata pari a 58.07MPa.

La resistenza media cilindrica a compressione è risultata pari a 49.4 MPa.

Il modulo elastico è pari a 28417MPa.

Le resistenza media per flessione è pari a 4.21 MPa

Tabella A.1 – Prove di compressione su cubi

Cod.	Lung. (mm)	Largh. (mm)	Alt. (mm)	Massa (g)	Carico (kN)	σ (MPa)
1	150	151	150	7904	1286	56.7
2	150	150	150	7910	1356	60.2
3	150	150	150	7870	1299	57.7
4	150	151	150	7900	1307	57.7

Tabella A.2 – Prove di compressione su cilindri

Cod.	d (mm)	h (mm)	Massa (g)	Carico (kN)	σ (MPa)
1	149	285	11949	797	45.7
2	149	288	12112	864	49.6
3	149	289	11900	924	53.0

Tabella A.3 – Prove di flessione

Cod.	Lung. (mm)	Largh. (mm)	Alt. (mm)	Massa (g)	Carico (kN)	σ (MPa)
1	150	149	603	31472	31.36	4.21
2	150	149	603	31407	31.42	4.22



Prove su acciaio d'armatura

In Tabella A4 si riportano i risultati delle prove di resistenza a trazione condotte secondo UNI UNI EN ISO 15630-1, sulle barre d'armatura (acciaio B450C) utilizzate nei campioni testati.

Tabella A4 – Prove di trazione su barre d'armatura

Diametro (mm)	Sezione (mm ²)	Tensione (MPa)		A5 (%)
		fy	ft	
12.02	113.38	595.8	671.2	18.8
12.02	113.38	598.0	674.7	18.8
12.02	113.38	603.3	683.1	18.7