POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

La resistenza delle barre di armatura nei ponti in C.A. realizzati nel secolo scorso
The strength of steel rebar in reinforced concrete bridges built in the past century

Original
La resistenza delle barre di armatura nei ponti in C.A. realizzati nel secolo scorso
The strength of steel rebar in reinforced concrete bridges built in the past century / Fantilli, Alessandro; Ferraro, Erik; Chiaia, Bernardino. - ELETTRONICO. - 1:(2021), pp. 817-824. (ITALIAN CONCRETE DAYS 2020 ONLINE 14 – 16 APRILE 2021).

Availability:
This version is available at: 11583/2969153 since: 2022-06-30T16:25:36Z

Publisher:
GWMAX srl

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

18 December 2025

The strength of steel rebar in reinforced concrete bridges built in the past century

La resistenza delle barre di armatura nei ponti in c.a. realizzati nel secolo scorso

A. Fantilli[1], E. Ferraro[2], B. Chiaia[1]

[1] *Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Politecnico di Torino, Torino, Italy*

[2] *Provincia di Cuneo, Settore viabilità Alba/Mondovì, Cuneo, Italy*

ABSTRACT: The vast majority of the reinforced concrete (RC) bridges currently used in Italy were built in the last Century, and some of them have been in service for more than 100 years. To assess their performances, it is of fundamental importance to estimate the mechanical properties of the steel reinforcement. In general, the strength of the historical rebar is measured by means of destructive tests, even if the extraction of rebar from an existing RC structure is not always possible. Accordingly, a predictive model, similar to the "strength-for-age" curves already used for concrete, is herein introduced. The results of this model, based on the data contained in a database stored at the Politecnico di Torino, are compared with the strength measured in destructive tests recently performed on existing RC bridges located in Provincia di Cuneo. / I ponti in c.a. presenti lungo le strade italiane sono stati realizzati, per la maggior parte dei casi, nel secolo scorso e devono continuare a garantire la piena funzionalità delle infrastrutture con i carichi attuali. Al fine di valutare i corretti margini di sicurezza di dette strutture, occorre conoscere la resistenza a trazione delle barre di armatura impiegate all'epoca della costruzione. L'estrazione delle armature metalliche per l'esecuzione di prove di laboratorio non è sempre possibile, pertanto occorre un metodo predittivo, come le curve "strength-for-age" già proposte per il calcestruzzo. Tali curve, ricavate dai certificati di prova del Politecnico di Torino e suddivise per annata, sono poste a confronto con gli esiti di indagini eseguite di recente su alcuni ponti in cemento armato della Provincia di Cuneo.

KEYWORDS: Tensile strength; historical rebar; existing structures. / Resistenza a trazione; barre di armatura storiche; strutture esistenti.

1 INTRODUZIONE

La principale e più antica classificazione dei prodotti siderurgici individua, in base al tenore di C, tre grandi gruppi: ferro, acciaio e ghisa. Il primo con meno dello 0,34% di C, l'acciaio da 0,34% a 1,7% e le ghise da 2,5% a 6.6%. Inizialmente detta classificazione era netta poiché si producevano materiali molto distanti fra loro in termini di tenore di C: i metalli extra dolci erano ottenuti allo stato pastoso nei forni di pudellatura, gli acciai duri al crogiolo o per cementazione (Galassini 1945).

Con l'avvento dei procedimenti Bessemer, Thomas, Martin-Siemens o elettici, si è potuto produrre ferri acciaiosi e di acciai dolci allo stato liquido, abbandonando la produzione di ferro pudellato (Galassini 1945). Conseguentemente si è pervenuti già nella prima metà del '900 alla seguente classificazione:

- acciai extradolci: C < 0,15%
- acciai dolci: 0,15% < C < 0,30%
- acciai semiduri: 0,30% < C < 0,45%
- acciai duri: 0,45% < C < 0,65%
- acciai extraduri: 0,65% < C < 1,70%

Oltre l'1,7% si hanno le ghise acciaiose e quindi le ghise propriamente dette.

Nel secondo dopoguerra, con l'istituzione dell'Ente Italiano di Normazione (UNI) e l'emanazione di norme tecniche via via più specialistiche, gli acciai vengono classificati con apposite sigle, principalmente in base alle loro prestazioni meccaniche: Aq.42, Aq.50, Aq.60, ecc..

Con il DM 30/05/1974 la denominazione degli acciai assunse la lettera "k" atta a significare che la grandezza relativa assumeva la valenza di "valore caratteristico", scostandosi dai precedenti valori deterministici assunti fino allora.

Dette classificazioni sono state contemplate anche da decreti e leggi promulgate nel secolo scorso.

All'inizio del '900 non vi erano norme nazionali specifiche per le opere in c.a.; tra le prime indicazioni relative al tipo di ferro da utilizzare per le armature metaliche si possono citare le "*Prescrizioni speciali per le opere di smalto cementizio armato da eseguirsi per conto della città di Torino proposte dalla Commisione del béton armato nominata dalla Società degli ingegneri e degli architetti di Torino, ed approvate dalla Società stessa*.", anteriori al 1908. Queste prevedono: "il ferro da impiegarsi nelle armature sarà preferibilmente il cosidetto ferro

omogeneo o ferro colato con resistenza alla rottura per trazione non inferiore a 37 kg/mm^2 ".

Il DM 29/02/1908 che, pur non contemplando esplicitamente il materiale delle barre d'armatura per c.a., considera il ferro omogeneo (o colato), il ferro comune (o agglomerato), l'acciaio fuso (per impiego elementi particolarmente resistenti, quali cuscinetti, cerniere, rulli da ponte e simili) e l'acciaio in fili (per funi metalliche). Il ferro omogeneo, prodotto allo stato liquido, si preferiva al ferro saldato o agglomerato, quest'ultimo prodotto allo stato pastoso dalla ghisa attraverso puddellatura, per le migliori e più costanti caratteristiche meccaniche (Galassini 1945).

Al citato DM seguono, per tutto il secolo scorso e il presente, continui aggiornamenti delle norme tecniche con prescrizioni per le armature metalliche, in riscontro al susseguirsi dei progressi tecnici e industriali. Il RDL 04/09/1927 n. 1981 prevede l'impiego di ferro omogeneo o ferro colato (acciaio extradolce) e in via eccezionale per opere di limitata importanza di ferro agglomerato o saldato, ormai in fase di abbandono. Infatti, con il DM 18/07/1930 n. 1133 l'armatura per opere in c.a. resta solo più il ferro colato o omogeneo (acciaio extradolce).

Pochi anni dopo, con il RDL 23/05/1932 n. 832 si riscontra che l'armatura è normalmente costituita solamente più da ferro colato od omogeneo (acciaio extradolce), con resistenza a trazione compresa fra 38 e 50 kg/mm^2. A esso segue la Circolare 17/05/1937 n. 2202 che prevede l'impiego dell'acciaio semiduro nelle costruzioni in conglomerato cementizio armato, con resistenza a trazione compresa fra 5000 e 6500 kg/cm^2.

Con il successivo RD 16/11/1939 n. 2229 si ammette l'impiego di acciaio dolce (o ferro omogeneo), acciaio semiduro e acciaio duro, con resistenze a trazione rispettivamente di: 42 – 50 kg/mm^2, 50 - 60 kg/mm^2 e 60 - 70 kg/mm^2.

Al termine della II Guerra Mondiale, l'evoluzione industriale porta a contamplare l'impiego di acciaio ad alto limite elastico, con la Circ. 22/11/1946 n. 1735. A questa seguono nei successivi anni ulteriori circolari: Circ. 25/09/1948 n. 2083, Circ. 25/09/1948 n. 2625, Circ. 12/04/1950 n. 942/CS, Circ. 08/06/1953 n. 1082, Circ. 10/09/1956 n. 2337 e la Circ. 23/05/1957 n. 1472. Quest'ultima prescrive per le strutture in c.a. l'impiego solamente degli acciai Aq.42, Aq.50 e Aq.60.

Con la Circ. 17/05/1965 n. 1547 viene consentito l'utilizzo di acciai ad aderenza migliorata, classificati come normali o speciali. Detta circolare viene successivamente più volte aggioranta: Circ. 11/11/1967 n. 3525, Circ. 15/10/1968 n. 5226, Circ. 14/05/1969 n. 5975, Circ. 14/07/1969 n. 6157, Circ. 10/10/1969 n. 6400 e infine dalla Circ. 12/05/1971 n. 8069.

A seguito dell'emanazione della L 05/11/1971 n. 1086 "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica", viene pubblicato il DM 30/05/1972 n. 9161 che prevede l'impiego dei seguenti acciai per c.a.: FeB22 (barre lisce), FeB32 (barre lisce), A38 (barre nervate), A41 (barre nervate) e FeB44 (barre nervate). Detta classificazione viene ridotta a quattro classi con il successivo DM 30/05/1974: FeB22k (barre lisce), FeB32k (barre lisce), FeB38k (barre nervate) e FeB44k (barre nervate) e confermata con i successivi decreti: DM 16/06/1976, DM 26/03/1980, DM 01/04/1983, DM 27/07/1985, DM 14/02/1992 e DM 09/01/1996.

Con il recente DM 14/09/2005 le classi di acciaio per c.a. sono ridotte a due: B450A e B450C, e restano confermate anche dagli ultimi decreti (DM 14/01/2008 e l'attuale DM 17/01/2018).

In Fig.1 sono riportati i valori delle resistenze prescritti dalle norme italiane, suddividendole in base al tipo di acciaio. Si nota come lo snervamento è prescritto solamente dal 1939.

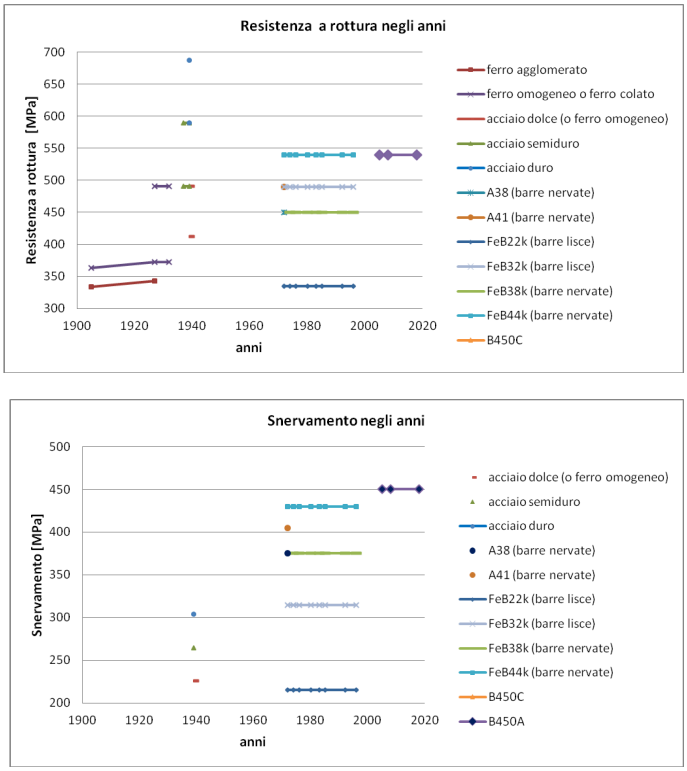

Figure 1. Tensile and yeld strength provided by Italian Codes based on the type of steel / Resistenza a rottura e snervamento prescrita dalle norme italiane in base al tipo di acciaio.

2 RESISTENZA A TRAZIONE

Le caratteristiche meccaniche dei corpi metallici dipendono non solo dalla composizione chimica degli stessi, ma principalmente anche dal modo in cui i singoli cristalli sono formati e collegati fra loro, e dalla loro grandezza (grana). Infatti, con il diminuire della dimenzione dei cristalli, cresce la resistenza e diminuisce la capacità di deformazione (Galassini 1959).

Alla natura e dimenzione dei cristalli si aggiunge inoltre la distribuzione, ossia la densità con cui una fase cristallina partecipa alla costituzione della mas-

sa metallica. La distribuzione media è una conseguenza della composizione chimica. La dinamica della solidificazione della lega metallica, il raffreddamento, i processi tecnologici, i trattamenti termici e le impurità presenti sono tutti fattori che influenzano la distribuzione delle fasi cristalline e conseguentemente le caratteristiche meccaniche di resistenza e deformabilità dei metalli (Secciani, Villani 1967).

Nell'ambito di una prova a trazione si possono distinguere una prima fase lineare elastica, una seconda fase elasto-plastica e una terza fase plastica, fino a rottura. Nella prima fase, gli spostamenti degli atomi sono inferiori alla semidistanza reticolare e il loro richiamo alla posizione di equilibrio iniziale avviene appana cessa la forza perturbatrice. Nella fase plastica, per i materiali tenaci, le tensioni tangenziali sono inferiori a quelle critiche e gli scorrimenti avvengono con facilità nei piani reticolari preferenziali, cioè quelli di maggior densità atomica e favorevolmente inclinati rispetto alla direzione dello sforzo esterno. Nei materiali fragili, le tensioni normali superano quelle critiche distanziando i cristalli (Secciani, Villani 1967).

La composizione chimica e la storia termica che il materiale ha subito sono pertanto elementi che influenzano sensibilmente le caratteristiche mecccaniche (Fig. 2).

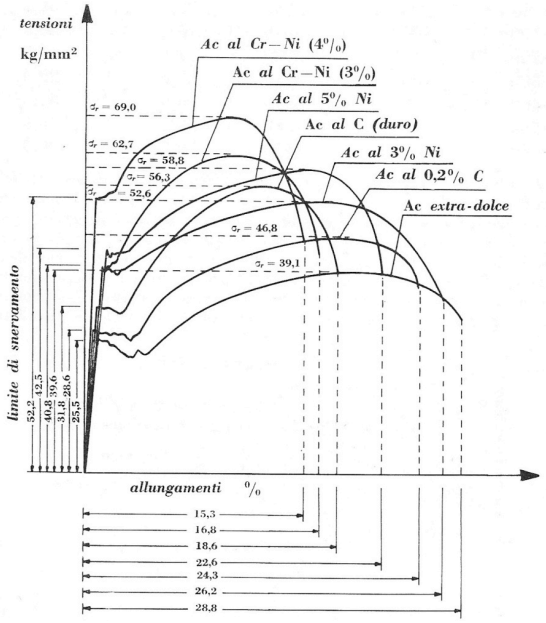

Figure 2. Effects of chemical components on steel strength/ Effetto dei componenti chimici sulla resistenza dell'acciaio.

Le barre di armatura vengono prodotte per laminazione o per trafilatura. Le due lavorazioni operano in modo differente e alterano le caratteristiche iniziali dei materiali attribuendo particolari proprietà ai prodotti finali. Le lavorazioni a caldo sotto i 900°C, e ancor più quelle a freddo, portano il materiale in campo plastico e lo incrudiscono, cioè ne fanno aumentare la resistenza a scapito della deformabilità a rottura (Stabilini 1959). Inoltre le lavorazioni a caldo e le successive fasi di raffreddamento generano, anche per le sezioni compatte, delle tensioni residue interne autoequilibrate (Ballio, Mazzolani 1987) che possono influenzare il comportamento a trazione dell'elemento metallico.

Questi aspetti, come pure il susseguirsi di migliorie apportate ai processi tecnologici di produzione, si ripercuotono sull'andamento dei valori di resistenza e snervamento delle armature impiegate durante il secolo scorso, diversificandoli non solo in base all'anno di produzione, ma anche al diametro e nell'ambito di questi, vi resta comunque un'elevata variabilità di valori. Pertanto, in assenza di specifiche prove di trazione su spezzoni di armature estratti direttamente dalle strutture, occorre un modello predittivo della resistenza dell'acciaio, che tenga conto degli aspetti citati.

3 IL DATABASE DEL POLITECNICO TORINO

Il Laboratorio di Materiali e Strutture del Politecnico di Torino esegue prove su materiali da costruzione e ne certifica gli esiti sin dalla sua origine (1906). Fra queste, sono stati raccolti e censiti 17080 certificati di prove di trazione uniassiale su barre d'armatura eseguite dal 1908 al 2005, considerando in particolare:

- l'anno di esecuzione della prova
- il tipo di materiale
- il diametro delle barre d'armatura
- la resistenza a rottura
- il valore di snervamento.

Analizzando i certificati, si osserva che il tipo di acciaio impiegato varia negli anni e che fra i diametri delle barre impiegate prevalgono quelli medi (10 e 12 mm) rispetto a quelli maggiori e minori.

Si è definito "comune" l'acciaio non classificato nell'ambito dei certificati di prova.

Da un primo esame dei dati si nota una forte dispersione dei valori di resistenza e di snervamento, sia riferiti all'anno di prova che al diametro delle barre (Fig. 3). Volendo rappresentare i valori di resistenza e di snervamento suddivisi per i tipi di acciaio, si riscontra comunque un andamento non costante negli anni (Fig. 4).

Rappresentando i valori di resistenza classificati in funzione dei diametri delle barre, si riscontra per ognuno un andamento generalmente crescente con gli anni, nonché valori maggiori per i diametri 8 e 10 mm soprattutto nei primi decenni (Fig. 5).

In generale, dai valori di resistenza suddivisi per diametro e per anno si osserva che:

- fino al 1918, nell'ambito della singola annata, non sembra esistere una regola che associ i valori di resistenza ai diametri;
- dal 1919 al 1936, per i diametri minori, fino a 10-11 mm si riscontrano generalmente valori maggiori, rispetto agli altri diametri;

- nel 1937, sembra verificarsi nuovamente una casualità nell'andamento delle resistenze in funzione del diametro delle barre. Detto anno è anche l'ultimo nel quale risulta presene solamente acciaio di tipo comune.

- dal 1939 al 1943, con la comparsa degli acciai Aq42, Aq50 e Aq60 insieme a quello comune si ha per ognuno un andamento non netto e individuabile in funzione del diametro;

- dal 1946 al 1950 si riscontrano nuovamente valori di resistenza maggiori per i diametri minori;

- dal 1955 non si ha più una sensibile differenza di resistenza fra i diametri minori e quelli maggiori, ma gradualmente negli anni si riscontra un uniformarsi di valori di resistenza per tipologia di acciaio, indipendente dai diametri.

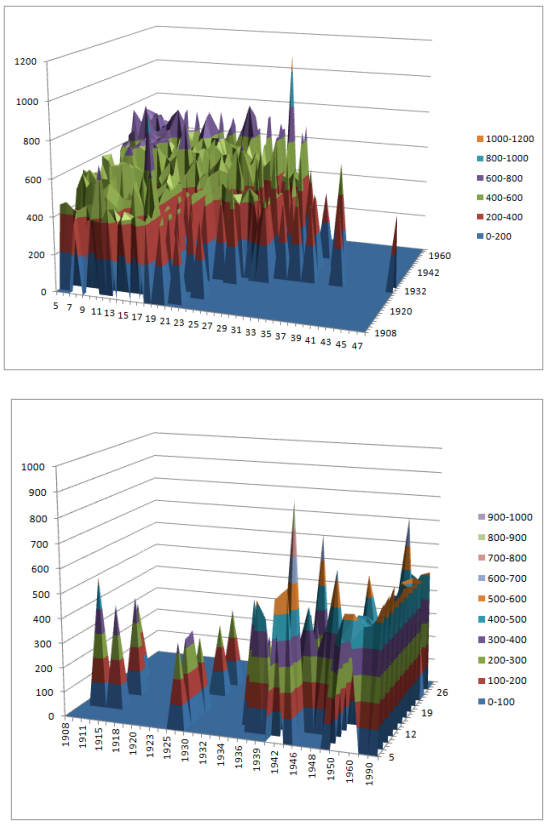

Figura 3: Tensile and yeld strength as a function of year and diameter / Resistenza media a rottura e snervamento in funzionne dell'anno e del diametro.

Quanto riportato rispecchia sia l'evoluzione del progresso tecnologico di produzione delle barre di armatura, sia il mutare della normativa di settore. Infatti, nel primo periodo prevale l'aspetto tecnologico di produzione della materia prima (ferro e acciaio) e dei differenti processi di conversione della ghisa e tipologie di forni. Nel secondo periodo sembra prevalere l'effetto delle lavorazioni di produzione delle barre (laminazione), a fronte di una stabilizzazione della qualità dell'acciaio.

Il 1937 sembra confermare quanto indicato dalla Circolare 17/05/1937 n. 2202 (che normava l'impiego dell'acciaio semiduro) e anticipare in sede di produzione tecnologica, quanto poi normato dal RD 16/11/1939 n. 2229. Negli anni succesivi si riscontra inizialmente una non netta e completa divisione fra le classi d'acciaio, in particolare per quello indicato come comune. Questo aspetto potrebbe essere anche stato influenzato dalle leggi autarchiche che hanno inciso sia sulle materie prime metalliche che sui combustibili impiegati nei forni.

Appena dopo il secondo conflitto mondiale sembra nuovamente prevalere l'effetto delle lavorazioni di produzione delle barre (laminazione), fino al 1955 circa, anno dal quale si riscontra un uniformarsi dei valori di resistenza per tipologie di acciaio utilizzato. Tale ultimo periodo coincide con l'intensificarsi della normativa di settore e con l'aumento dei controlli eseguiti in produzione e all'impiego delle armature.

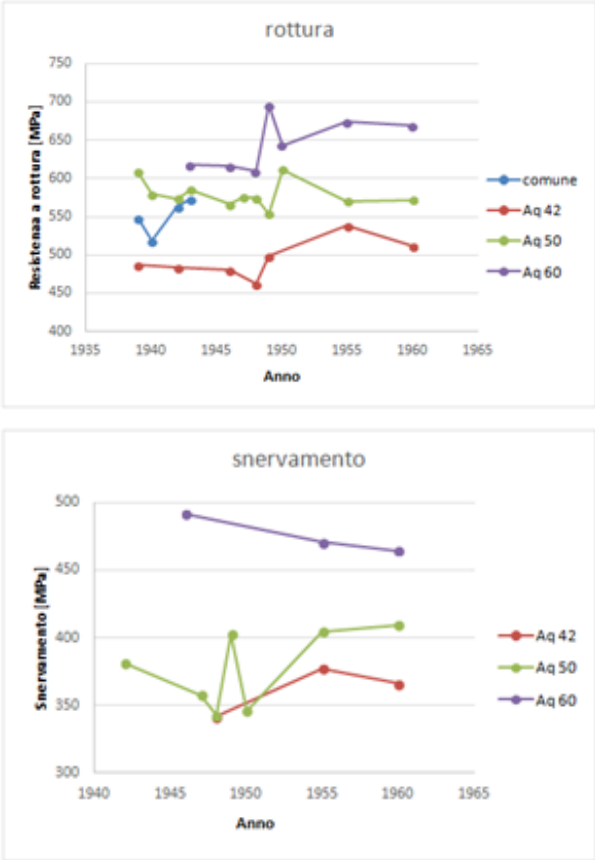

Figura 4: Tensile and yeld strength *vs.* the year of production / Resistenza a rottura e snervamento per tipo di acciaio e anno.

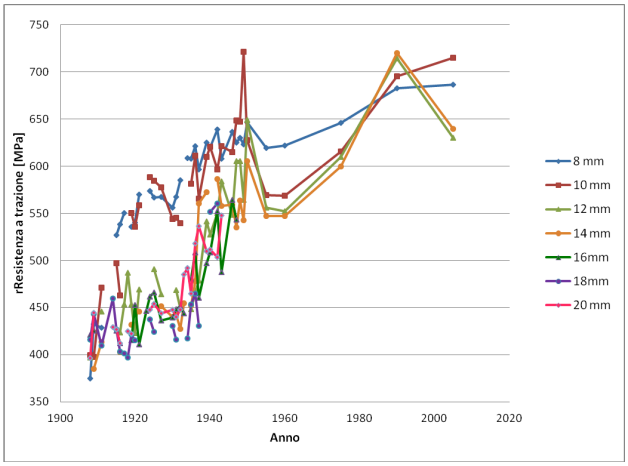

Figura 5: Tensile strength *vs.* the year of production / Rottura media per diametro e anno.

4 MODELLI PREDITTIVI

Al fine di poter valutare le resistenze attuali di strutture in c.a. occorre conoscere le caratteristiche meccaniche di calcestruzzo e barre in acciaio. Per quanto concerne le armature metalliche, non sempre è possibile procedere al prelievo di spezzoni in opera da sottoporre a specifiche prove di laboratorio. Pertanto, sarebbe utile poter gestire un modello preditivo, ossia riuscire a definire un legame fra la resistenza a rottura, o lo snervamento, delle barre di armatura e l'anno di realizzazione delle opere, analogamente a quanto già proposto per il calcestruzzo (Fantilli, Frigo, Chiaia 2018).

Data la notevole dispersione dei dati di resistenza, risulta non agevole, né immediato individuare una funzione di stima della resistenza a trazione delle barre di armatura in funzione dell'anno di realizzazione. Inoltre detta funzione dovrebbe tener conto delle seguenti variabili fra loro indipendenti:

- anno dell'opera
- tipo di acciaio
- diametro della barra d'armatura.

Nel seguito vengono proposti due metodi preditivi di stima della resistenza a trazione, che considerano una o più variabili indipendenti.

4.1 *Metodo preditivo, approccio 1*

Fantilli e Chiaia (2020) hanno proposto un modello di predizione basato solo sull'anno di costruzione. La resistenza di un singolo anno risulta pari a:

$$f_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} r_{j,i} \cdot p_{j,i}}{100\%} \quad (1)$$

dove: f_j = valore della resistenza (a rottura, f_u, o snervamento, f_y) nell'anno j; $r_{j,i}$ = valore di resistenza estratti dal database del Laboratorio del Politecnico di Torino per l'anno j; $p_{j,i}$ è la percentuale del i tipo di acciaio utilizzato nell'anno j; n = numero di tipi di acciaio utilizzati nell'anno j.

Dai valori così ottenuti sono state definite le equazioni lineari dell'andamento medio e quelle relative al 5° e 95° percentile, sia per la resistenza ultima che per lo snervamento:

$$f_u = a\,(\text{anno}) - b \quad (2)$$

$$f_y = c\,(\text{anno}) - d \quad (3)$$

dove i valori delle costanti a, b,c, d sono riportate nella Tabella 1.

4.1 *Metodo preditivo, approccio 2*

Fantilli e Chiaia 2020 hanno proposto un modello di predizione basato su due variabili indipendenti: l'anno di realizzazione della struttura e il diametro della barra di armatura.

Differentemente dal precedente approccio, non è definita una funzione semplice di utilizzo immediato, ma sulla base dei dati ricavati dai certificati del Politecnico di Torino, è possibile definire per ogni anno e per ogni diametro la densità di probabilità della resistenza, dalla quale è possibile definire la probabilità di resistenza per un assegnato valore.

	a MPa/y	b MPa	c MPa/y	d MPa
95th percentile	3.31	5760	3.06	5480
50th percentile	2.90	5080	3.35	6170
5th percentile	2.75	4920	3.65	6860

Table 1. Coefficients of the Eqs.(2) and (3) / Coefficienti delle Eq. (2) e (3).

5 I CASI STUDIO

Nel seguito sono riportati i risultati di prove di trazione eseguite su spezzoni di barre di armatura estratti da alcuni ponti realizzati nel secolo scorso. Si tratta del ponte di Cardè, del viadotto di Montaldo Roero, del ponte di Cortemilia e del viadotto di S. Stefano Belbo che appartengono al patrimonio infrastrutturale della Provincia di Cuneo.

5.1 *Il ponte di Cardè*

Il ponte, sito sulla SP 29 tronco Diramazione Cardè (bv. SP 29 per Villafranca) – Saluzzo (bv. SS 589) al km 5+500, nel Comune di Cardè (CN), è stato costruito nel 1914 (Fig.6).

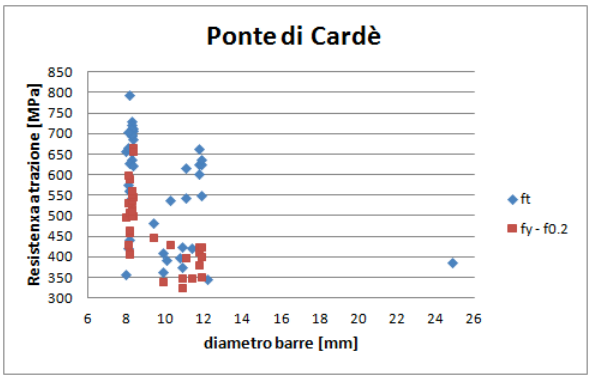

Figure 6. A picture of the Cardè Bridge and the tensile and yield strength of bridge's rebar / Una foto del Ponte di Cardè e la resistenza a trazione e snervamento delle barre di armatura in esso presenti.

Nell'ambito di alcuni interventi di ripristino della struttura del ponte da parte della Provincia di Cuneo, sono state eseguite alcune campagne di indagini in sito e in laboratorio con il fine di valutare la resistenza dei materiali costituenti la struttura. In particolare, sono stati estratti 43 spezzoni di barre di armature assoggettandole a prova di trazione.

5.2 *Il ponte di Montaldo Roero*

Il ponte di Montaldo Roero (Fig.7), sito sulla S.P. n.119 tronco Diramazione di Montaldo Roero, al km 1+900, è stato costruito negli anni 1930-31.

Nell'ambito di un intervento di rinforzo di due pile del ponte, eseguito dalla Provincia di Cuneo, è stata condotta un'estesa campagna d'indagini volta a valutare la resistenza dei materiali costituenti l'opera. In particolare, sono stati prelevati 12 spezzoni di barre di armature assoggettandole a prova di trazione (Fig.7).

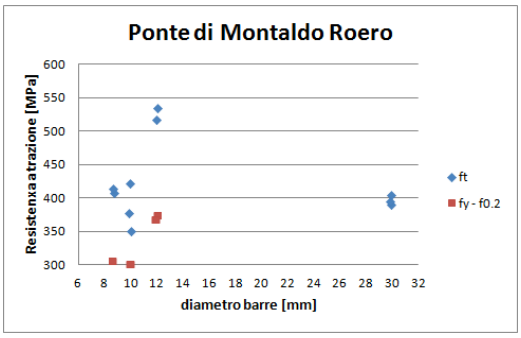

Figure 7. A picture of the Montaldo Roero Bridge and the tensile and yield strength of bridge's rebar / Una foto del Ponte di Montaldo Roero e resistenza a trazione e snervamento delle barre di armatura in esso presenti.

5.3 *Il ponte di Cortemilia*

Il ponte, sito sulla SP 429 tronco Cortemilia (municipio) – Bivio S.P. 52 di Pezzolo al km 5+500, nel Comune di Cortemilia (CN), è stato realizzato nel 1947 (Fig. 8).

Nell'ambito di un intervento volto alla demolizione e ricostruzione dei basamenti di fondazione e al ripristino strutturale dell'impalcato, in corso di esecuzione dalla Provincia di Cuneo, è stata condotta una campagna di indagini volta a valutare la resistenza dei materiali costituenti l'opera. In particolare, sono stati prelevati 3 spezzoni di barre di armature assoggettandole a prova di trazione (Fig.8).

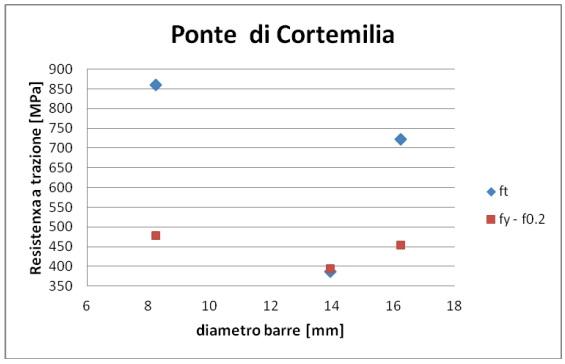

Figure 8. A picture of the Cortemilia Bridge and the tensile and yield strength of bridge's rebar / Una foto del Ponte di Cortemilia e resistenza a trazione e snervamento delle barre di armatura in esso presenti.

5.4 *Il viadotto di S. Stefano Belbo*

Il viadotto, sito sulla Strada Provinciale n.52 Tronco S. Stefano Belbo – confine Provincia di Asti, alla progressiva 13+400, nel comune di S. Stefano Belbo (CN), è stato realizzata dall'ANAS nei primi anni '70 del secolo scorso (Fig. 9).

Nell'ambito di interventi di ripristino della struttura sono state eseguite alcune campagne di indagini volte a valutare la resistenza dei materiali costituenti l'opera. In particolare, sono stati prelevati complessivamente 22 spezzoni di barre di armature assoggettandole a prova di trazione (Fig.9).

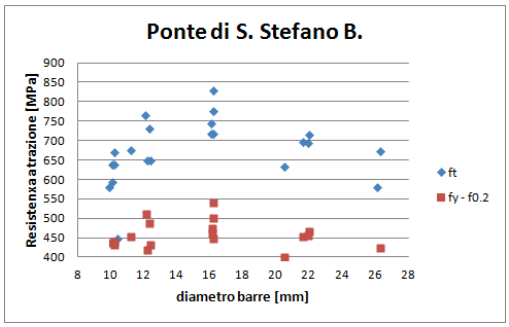

Figure 9. A picture of the S. Stefano Belbo Bridge and the tensile and yield strength of bridge's rebar / Una foto del Ponte di S. Stefano Belbo e resistenza a trazione e snervamento delle barre di armatura in esso presenti.

6 APPLICAZIONE APPROCCI PREDITIVI AI PONTI

6.1 *Metodo predittivo, approccio 1*

Si sono raffrontati i valori medi e il range di variazione delle resistenze a trazione e snervamento dei provini estratti dai ponti con la formulazione linearizzata del metodo preditivo approccio 1 (Fig. 10).

Relativamente alla resistenza ultima si riscotra un'ottima previsione per quasi tutti i dati, salvo quelli relativi al ponte del 1914. Per lo snervamento, il valore medio è compreso all'interno dei 5° e 95° percentile per tutti i casi analizzati. Si rileva comunque un'elevata variabilità dei dati.

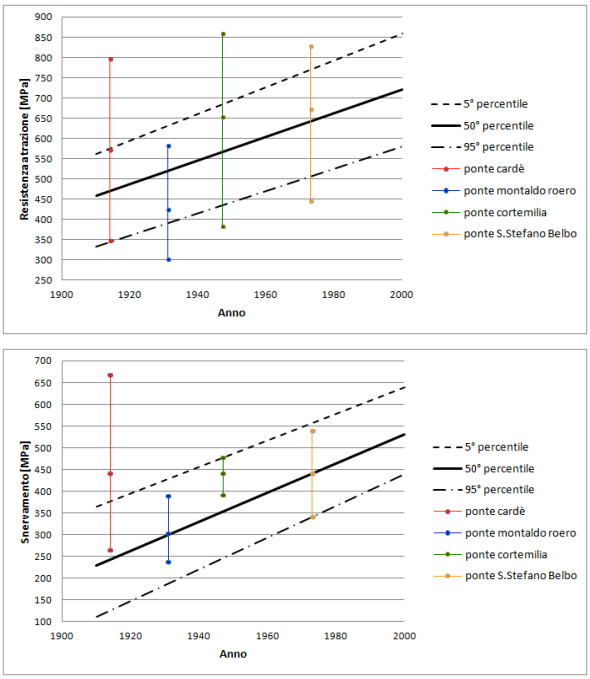

Figure 10. Tensile and yield strength of the bridge's rebars compared with the predictive approach 1 / Resistenza a trazione e snervamento delle barre di armatura dei ponti confrontate con il metodo preditivo approccio 1.

6.2 *Metodo preditivo, approccio 2*

L'approccio 2 non è stato applicato al ponte di Cortemilia, visto l'esiguo numero di prove eseguite. Per i diametri significativi degli altri ponti si sono confrontate le distribuzioni di probabilità di resistenza a trazione e snervamento delle barre estratte, confrontandole con quelle del database del Politecnico di Torino degli stessi anni, nonché con i limiti delle coeve norme (Fig. 11 e 12). Si ricorda che norme antecedenti al RD 16/11/1939 n. 2229 non prescrivevano valori di snervamento dell'acciaio, ma solo i limiti inferiori di resistenza a rottura.

Le distribuzioni delle resistenze a trazione degli anni 1914/15 del ponte sono in accordo con quelle del database del Politecnico di Torino ed entrambe presentano un ottimo andmento rispetto ai limiti normativi; lo stesso dicasi per il D=10 mm degli anni 1931/33. Differente invece è l'andamento delle distribuzioni di probabilità per il D=30 mm degli stessi anni. Per gli anni 1973/75 si riscontrano differenti situazioni in base ai diametri analizzati. Ciò è verosimilmente imputabile alla non differenziazione del tipo di acciaio nell'ambito delle distribuzioni di probabilità, in genere più chiuse per il ponte indagato, rispetto al database di raffronto.

Le distribuzioni dei valori di snervamento risultano nettamente differenti per i ponti rispetto al database, per tutti i casi analizzati. Si osserva inoltre che la distribuzione di probabilità dei ferri di piccolo diametro del database del Politecnico di Torino degli anni 1973/1975 è molto chiuso e prossimo al limite normativo dell'acciaio FeB44k, mentre si discosta sensibilmente per i ferri di grande diametro.

7 CONCLUSIONI

The prediction model, named Approach 1, effectively estimated both the ultimate and yielding strength of rebar. In particular, the average values experimentally measured on the reinforcing bars of existing bridges fall within the range 5th -95th percentile defined by Approach 1. As the average strength of the rebar used in the first years of the last Century has a large scatter, a more accurate estimation of tensile strength can be performed by means of the probability distribution function, herein called Approach 2. On the contrary, regarding the estimation of yielding strength, which was not considered in the first editions of the Italian code rules, the values measured in the tests are not effectively estimated by the proposed models. This is due to the fact that the technology used to produce rebar continuously evolved in the beginning of the XX Century.

Il metodo preditivo, approccio 1 di semplice applicazione ha generato previsioni di valori di resistenza a trazione e snervamento che nell'intervallo dei 5° e 95° percentile contemplano quasi tutti i valori medi riscontrati sui ponti analizzati. Vista la notevole variabilità dei valori degli acciai dei primi decenni del '900, previsioni più accurate della resistenza a trazione per quegli anni devono essere eseguite contemplando le distribuzioni di probabilità, ossia con il metodo preditivo, approccio 2. Relativamente al valore di snervamento, non prescritto dalle prime norme, il confronto con i valori desunti dai ponti analizzati non ha portato a significativi apprezzamenti, in quanto le caratteristiche dei materiali erano all'epoca molto influenzate dagli aspetti tecnologici di produzione in continua evoluzione.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la Provincia di Cuneo, ed in particolare i Settori Viabilità Alba-Mondovì e Cuneo-Saluzzo, per aver messo a disposizione i risultati delle indagini eseguite sui ponti di Cardè, Montaldo Roero, Cortemilia e S.Stefano Belbo, e il Dipartimento della Protezione Civile (programma di ricerca DPC Reluis - Politecnico di Torino -anni 2019-2021 - WP11).

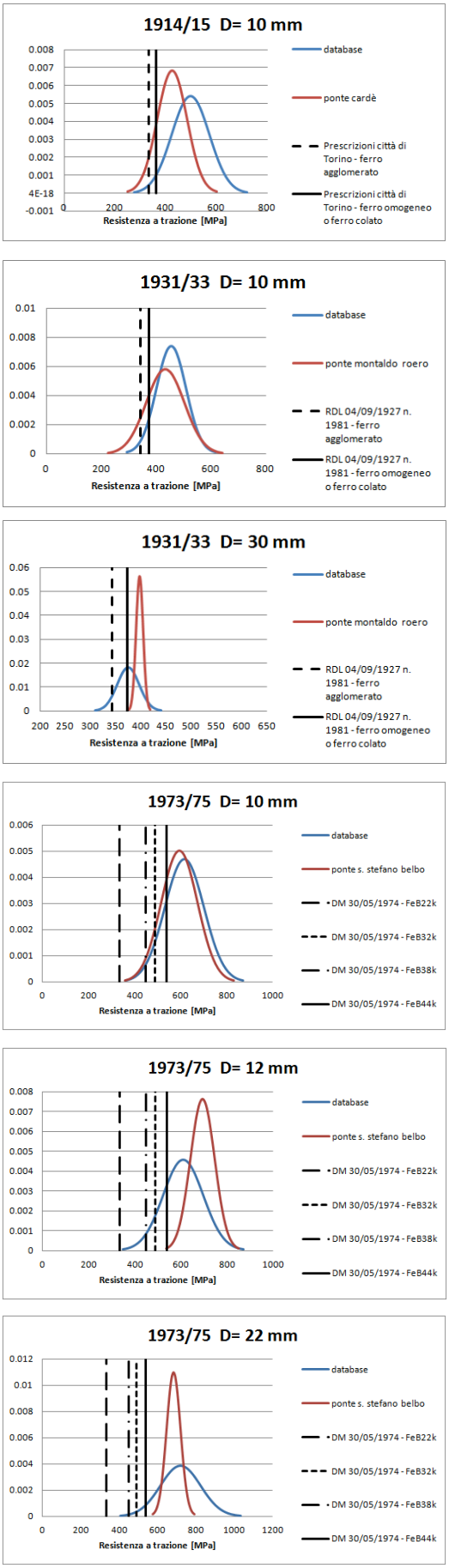

Figure 10. Tensile strength distributions of bridges' rebar compared with both the data those extracted from the Politecnico di Torino database and the limits of the Italian Code Rules / Distribuzioni di probabilità di resistenza a trazione delle barre estratte dai ponti, confrontandole con quelle del database del Politecnico di Torino e con i limiti delle coeve norme italiane.

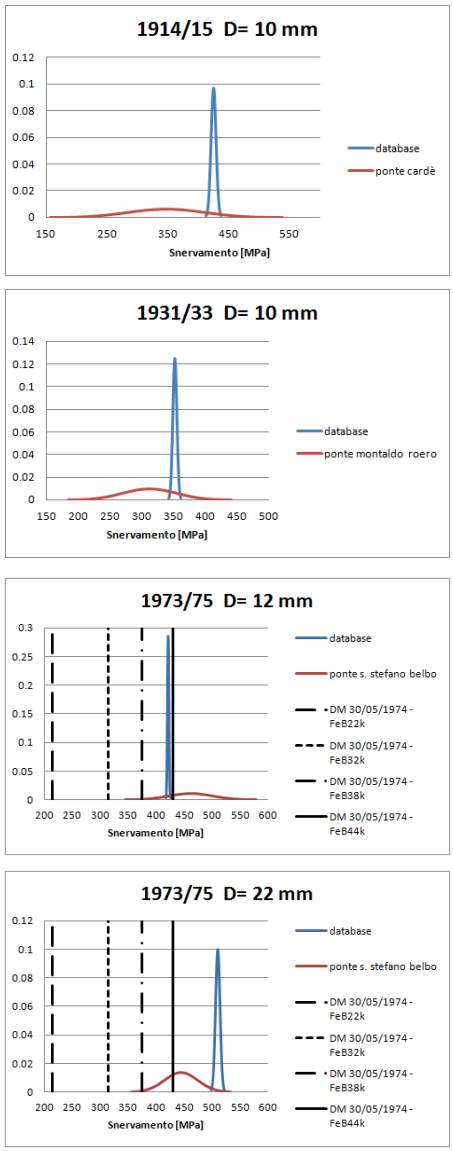

Figure 11. Yield strength distributions of bridges' rebar compared with both the data those extracted from the Politecnico di Torino database and the limits of the Italian Code Rules / Distribuzioni di probabilità dello snervamento delle barre estratte dai ponti, confrontandole con quelle del database del Politecnico di Torino e con i limiti delle coeve norme italiane.

8 BIBLIOGRAFIA

Ballio G., Mazzolani F. M. 1987. *Strutture in acciaio*. Milano: Ulrico Hoepli Editore.

Fantilli, A. P., Frigo, B., and Chiaia, B., *A simplified approach to the evaluation of the strength of old concrete*, ICE Construction Materials, V. 171(6), 2018, pp. 257–266

Fantilli A. P., Chiaia B. *Estimation of steel rebar strength in existing concrete bridges* (2020)

Galassini A. 1945. *Elementi di tecnologia meccanica. Leghe metalliche e siderurgia.* Milano: Ulrico Hoepli Editore.

Galassini A. 1959. *Elementi di tecnologia meccanica. Lavorazione a caldo Trattamenti termici Prove dei materiali.* Milano: Ulrico Hoepli Editore.

Secciani, Villani 1967. *La prova di trazione.* Rocca San Casiano: Licinio Cappelli S.p.A.

Siviero E., Russo S., Mazzocato S. 2001. *Le armature di rinforzo per calcstruzzo*. Milano: Francoangeli

Stabilini L. 1959. *I materiali e la sperimentazione. Rendiconti e pubblicazioni del corso di perfezionamento del Politecnico di Milano* – Fondazione Fratelli Pesenti. Milano: Libreria editricepolitecnica Tamburini.