

# Analisi delle caratteristiche meccaniche di acciai estratti da edifici esistenti in cemento armato



Angelo Masi, Andrea Digrisolo

Scuola di Ingegneria, Università degli Studi della Basilicata. Viale dell'Ateneo Lucano 10, 85100 Potenza.

*Keywords: Acciaio, Cemento armato, Edifici esistenti, Rischio sismico, Vulnerabilità*

## ABSTRACT

La valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti in cemento armato sta occupando un ruolo sempre più importante per la mitigazione del rischio, come dimostrato dai recenti terremoti in Italia (es.: L'Aquila 2009) ed in altri paesi. Un'accurata conoscenza degli edifici richiede che la geometria del sistema strutturale, la quantità e i dettagli di armatura e le proprietà dei materiali costituenti siano identificati. Pertanto il processo di conoscenza svolge un ruolo fondamentale per una valutazione affidabile, così che si possano intraprendere le azioni più opportune mirate alla riduzione della vulnerabilità. Il presente lavoro rivolge l'attenzione esclusivamente alle caratteristiche dei materiali da costruzione ed in particolare agli acciai. Lo studio si basa sui risultati di prove a trazione effettuate su più di 120 barre di armatura prelevate da numerosi edifici pubblici presenti sul territorio della regione Basilicata e realizzati a partire dagli anni '50 fino alla fine degli anni '80. Il campione, formato sia da barre lisce che da barre ad aderenza migliorata, rappresenta una fonte preziosa di informazioni riguardanti la reale resistenza degli acciai presenti negli edifici esistenti. Le variazioni delle principali proprietà meccaniche vengono analizzate in vari intervalli di tempo, distinguendo sempre gli acciai lisci da quelli nervati. Inoltre è stato effettuato un confronto tra i risultati ottenuti in questo lavoro e i risultati ottenuti usando i dati delle prove di accettazione. Il confronto, validato con una serie di test statistici, mostra solo delle piccole differenze tra i due campioni. Da questo risultato possono essere tratte informazioni utili sul numero appropriato di prelievi di acciaio da eseguire per valutare in modo attendibile la vulnerabilità sismica degli edifici esistenti cercando di mantenere il più possibile basso il numero dei prelievi di acciaio.

## 1 INTRODUZIONE

All'interno del continente europeo l'Italia ha mostrato storicamente una pericolosità sismica che può essere definita medio-alta. Ciò nonostante il patrimonio edilizio italiano è caratterizzato da una notevole fragilità dovuta soprattutto all'età, alle caratteristiche tipologiche e costruttive unite, il più delle volte, ad uno scadente stato di manutenzione e al ritardo con cui sono state classificate le zone sismiche del territorio nazionale.

In Italia una quota consistente degli edifici esistenti, sia pubblici che privati, è stata realizzata con struttura intelaiata in cemento armato. Di

questi la gran parte è stata costruita dall'immediato dopoguerra fino agli inizi degli anni '80, periodo nel quale le norme non prevedevano particolari regole antisismiche sulla gran parte del territorio o, dove previste, consideravano criteri di progettazione e intensità delle azioni sismiche poco efficaci per garantire un adeguato livello di sicurezza nei confronti degli eventi sismici attesi. Pertanto, in un'ottica di mitigazione del rischio sismico, la valutazione della vulnerabilità degli edifici esistenti in c.a. assume un ruolo fondamentale per poter intraprendere una serie di azioni mirate alla riduzione della stessa e, di conseguenza, alla riduzione del rischio (Masi 2003).

La conoscenza delle caratteristiche meccaniche dei materiali è uno dei passi fondamentali per la stima della vulnerabilità degli edifici. Infatti le attuali norme, NTC2008 (D.M. 14/02/2008), europee EC8-3 (CEN 2005) ed internazionali come le FEMA 356 (2000), prevedono prove sui materiali costituenti dai cui risultati derivano le resistenze di calcolo che prescindono dai valori nominali previsti nella progettazione di edifici nuovi, come ad esempio quelli riferiti alle classi discretizzate previste nelle NTC2008.

Con riferimento ad un vasto programma di valutazioni di vulnerabilità condotto in Basilicata, che ha coinvolto centinaia di edifici scolastici, si sono ricavati i dati delle prove di trazione su barre d'armatura estratte dagli edifici oggetto di verifica, da cui è stato possibile predisporre un database formato da oltre 120 risultati.

Su tale campione è stato eseguito uno studio delle caratteristiche meccaniche in funzione del tempo, considerando separatamente gli acciai lisci da quelli ad aderenza migliorata. Facendo un confronto tra i risultati ottenuti da barre prelevate da strutture esistenti e i risultati delle prove di accettazione eseguite durante l'esecuzione di edifici nuovi, è emersa una bassa differenza soprattutto nel caso di barre lisce, il che mostra una notevole stabilità delle caratteristiche meccaniche degli acciai nel corso del tempo.

## 2 DATABASE DISPONIBILI IN LETTERATURA

La conoscenza delle caratteristiche meccaniche dei materiali rappresenta la base per studi di vulnerabilità su larga scala e, soprattutto, per la valutazione sismica dei singoli edifici. Per tale motivo l'attuale norma, NTC2008, ha previsto, in funzione del livello di approfondimento che si vuole/può raggiungere, l'individuazione di diversi livelli di conoscenza (LC) a cui vengono associati i rispettivi fattori di confidenza (FC). I fattori di confidenza vengono utilizzati in modo sostanzialmente analogo ai coefficienti parziali di sicurezza previsti per le nuove strutture ma intendono portare in conto l'incertezza nella conoscenza dei principali parametri del modello. Così si distinguono 3 livelli di conoscenza in funzione delle quantità di informazioni ottenute, ad ognuno dei quali è associato un valore del fattore di confidenza che vale 1.35 nel caso si raggiunga il livello di conoscenza più basso (limitato, LC1); vale 1.25 nel caso si raggiunga un livello di conoscenza

intermedio (adeguato, LC2) e vale 1 nel caso si raggiunga il livello di conoscenza più elevato (accurato, LC3).

Altre norme come le FEMA 356, invece di considerare solo il valore medio, come le norme italiane, introducono il coefficiente di variazione (C.V.) che porta in conto la dispersione dei dati. Anch'esse prevedono diversi livelli di conoscenza, che dipendono da aspetti generali e non solo dal numero di prove condotte e dalla superficie di piano indagata.

L'analisi della letteratura scientifica mostra una limitata disponibilità di studi sulle proprietà meccaniche dell'acciaio da cemento armato normale tipicamente utilizzato nelle costruzioni nel corso degli anni. Nel lavoro svolto da Verderame et al. (2001) viene focalizzata l'attenzione sulle caratteristiche meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in cemento armato costruite negli anni '60 (che rappresentano una percentuale molto elevata di fabbricati esistenti in Italia) presentando una serie di risultati di analisi statistiche.

Le caratteristiche meccaniche di questi acciai sono state ricavate dai certificati emessi per i controlli di accettazione di barre d'armatura, rilasciati dal laboratorio del Dipartimento (ex Istituto) di Scienza delle Costruzioni della Facoltà d'Ingegneria di Napoli. In tali certificati sono disponibili i parametri rilevabili dalle schede delle prove, quelli che maggiormente condizionano le prestazioni degli acciai in zona sismica, ossia: il diametro delle barre, la tensione di snervamento, la tensione di rottura e l'allungamento a rottura (valore misurato su una base convenzionale di dieci diametri). Il campione analizzato in tale arco temporale è composto quasi esclusivamente da barre di tipo liscio.

I risultati ottenuti, suddividendo il campione in funzione della categoria di acciaio (AQ42, AQ50 e AQ60), in termini di tensione di snervamento, tensione di rottura, rapporto di incrudimento e allungamento a rottura sono stati messi in relazione al diametro delle barre. Osservando i risultati si rileva che sia la tensione di rottura che l'allungamento a rottura risultano pressoché invarianti con il diametro, mentre la tensione di snervamento ha un andamento decrescente all'aumentare del diametro. Inoltre per analizzare la variabilità statistica dei risultati, sono stati presentati i diagrammi delle frequenze relative della tensione di snervamento e

dell'allungamento a rottura, da cui emerge un andamento ben riproducibile con una distribuzione di tipo Normale.

Un lavoro più recente riguardante le proprietà meccaniche degli acciai da cemento armato è stato realizzato da Ricci et al. (2011) e pone l'attenzione sulle principali caratteristiche meccaniche degli acciai utilizzati nel trentennio 1950-1980. Tale lavoro, che può considerarsi un ampliamento dello studio effettuato nel decennio 1950-1960 (Verderame et al. 2001), parte dalla raccolta e successiva analisi dei dati ottenuti da prove di trazione effettuate per i controlli di accettazione dal Laboratorio Prove Materiali della Facoltà d'Ingegneria dell'Università Federico II di Napoli. Anche qui viene fatta una prima distinzione in base al tipo di barra, distinguendo le barre lisce da quelle nervate. Tale distinzione mette in luce che negli anni '50 venivano usate esclusivamente barre lisce; successivamente, col passare degli anni, iniziavano a diffondersi le barre ad aderenza migliorata che, dagli anni '70 in poi, rappresentano più del 50% delle barre utilizzate nelle costruzioni.

Date le dimensioni del database a disposizione è stato possibile effettuare uno studio suddividendo il campione in funzione del tipo di acciaio (liscio e nervato) e in funzione della categoria. Le analisi sono state eseguite sulla totalità delle prove in funzione della categoria adottata e in relazione a tre diverse finestre temporali, ovvero: sull'intero trentennio (1950-1980), per decennio e per ogni anno. Con i dati a disposizione è stato possibile costruire degli istogrammi di frequenza relativi per la tensione di snervamento, per il rapporto d'incrudimento e per la percentuale di allungamento a rottura. Su tali istogrammi, per approssimare i dati, sono stati riportati gli andamenti delle distribuzioni Normale e Lognormale per le differenti categorie di acciaio.

Sempre all'interno dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, utilizzando i dati a disposizione del Laboratorio Sperimentale del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, è stato sviluppato il software STIL V1.0 (Verderame et al. 2011). Tale programma, sviluppato in ambiente Matlab, fornisce un contributo alla conoscenza delle caratteristiche degli acciai da cemento armato impiegati in Italia nell'intervallo temporale che va dal 1950 al 2000. Il database è ricavato dalle schede che certificano i risultati delle prove a trazione su barre di acciaio da

cemento armato utilizzate per la realizzazione di edifici sia pubblici che privati. Tale database è costituito da oltre 19000 prove che rappresentano un campione significativo per valutare l'andamento delle proprietà meccaniche degli acciai impiegati nel periodo che va dal dopoguerra fino al 2000.

Il software STIL V1.0 permette di ricavare le principali caratteristiche meccaniche degli acciai in funzione di pochi parametri inseriti dall'utente. In particolare, si può definire un intervallo temporale, un intervallo temporale ed una tipologia di acciaio (Liscio, Nervato), oppure un intervallo temporale ed una specifica categoria (in funzione della tipologia di acciaio e della classificazione normativa in vigore all'epoca di riferimento). Inseriti tali parametri il programma restituisce, sia in formato numerico che grafico, le distribuzioni empiriche e le distribuzioni Normali e Lognormali della tensione di snervamento, del rapporto di incrudimento e della percentuale di allungamento a rottura, nonché i valori di percentuale di utilizzo delle diverse categorie di acciaio nell'intervallo temporale selezionato.

### 3 DESCRIZIONE DEL DATABASE ANALIZZATO NEL PRESENTE STUDIO

I dati utilizzati nel presente lavoro provengono da una ampia raccolta dati effettuata negli anni passati. A seguito dell'OPCM 3274/2003, che ha previsto un programma nazionale di valutazione della vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio esistente privo di protezione sismica partendo dalle opere strategiche ed a rischio rilevante, la Regione Basilicata si è attivata con l'esecuzione delle valutazioni di vulnerabilità su scuole ed ospedali presenti sul territorio regionale. A seguito di queste verifiche, effettuate da tecnici professionisti, è stato possibile analizzare i risultati delle prove di laboratorio eseguite sulle barre estratte dalle strutture oggetto di verifica. In questo modo si è realizzato un database di prove di trazione dove, alle informazioni ottenute dai certificati di prova, sono state affiancate le principali caratteristiche delle strutture da cui sono state estratte le barre. I dati utilizzati nel presente lavoro derivano esclusivamente da edifici scolastici con struttura portante in cemento armato. In termini numerici si sono recuperati i certificati di 122 prove a trazione. Seppur tale numero non sia molto elevato, considerando la grande difficoltà che si incontra nel reperire tali

informazioni, il database a disposizione risulta comunque di notevole importanza, considerando che esso è relativo solo a strutture pubbliche, in particolare alle scuole. All'interno di tale database troviamo la presenza sia di barre lisce che ad aderenza migliorata prelevate da strutture esistenti costruite per lo più dai primi anni '50 fino alla fine degli anni '90.

#### 4 ANALISI DEL DATABASE

I dati a disposizione provengono da prelievi di armature effettuati su strutture sottoposte a verifica sismica e testati in diversi laboratori. Di questi la maggior parte dei provini, più del 70%, provengono da strutture costruite nel ventennio che va dagli anni '60 agli anni '80, circa il 20% provengono da strutture costruite dopo il 1980 e la restante parte da strutture costruite prima del 1960.

Per quanto riguarda i diametri prelevati, circa il 70% sono compresi tra 12 e 16 mm, mentre la restante parte è divisa equamente tra diametri minori di 12 mm e maggiori di 16 mm.

Riguardo al tipo di acciaio, più del 60% delle barre prelevate sono ad aderenza migliorata.

L'analisi dei dati presenti nel database è stata effettuata considerando diversi intervalli temporali. In particolare la suddivisione è stata fatta considerando intervalli pari a circa dieci anni, ma allo stesso tempo cercando di fare in modo che la suddivisione tenesse conto anche dell'evoluzione e degli anni in cui si sono verificati i cambiamenti più significativi delle principali norme sulle costruzioni. Per tale motivo i periodi individuati sono stati i seguenti: <1961; 1961-1971; 1972-1981; >1981.

Prima di iniziare l'elaborazione dei dati, vengono riportate le principali statistiche in funzione del relativo periodo, considerando separatamente l'acciaio liscio da quello ad aderenza migliorata (nervato).

Tabella 1. Principali statistiche della tensione di snervamento degli acciai Lisci (L) e Nervati (N).

Tensione di snervamento $f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )								
	<1961		1961-1971		1972-1981		>1981	
	L	N	L	N	L	N	L	N
<b>media</b>	346	567	371	402	399	463	329	485
<b>mediana</b>	352	567	371	380	398	460	329	452
<b>dev. st.</b>	29.1	-	56.7	58.2	73.4	58.8	-	72.3
<b>min</b>	307	379	306	312	271	373	297	403
<b>max</b>	374	754	564	514	566	609	362	635
<b>C.V.</b>	0.08	-	0.15	0.14	0.18	0.13	-	0.15
<b>n° el.</b>	4	2	22	20	16	33	2	23

Tabella 2. Principali statistiche della tensione di rottura degli acciai Lisci (L) e Nervati (N).

Tensione di rottura $f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )								
	< 1961		1961-1971		1972-1981		>1981	
	L	N	L	N	L	N	L	N
<b>media</b>	470	776	522	555	560	611	458	675
<b>mediana</b>	459	776	527	533	563	595	458	676
<b>dev. st.</b>	38.6	-	70.7	68.3	89.5	78.7	-	64
<b>min</b>	438	576	405	478	430	417	386	503
<b>max</b>	525	975	721	689	722	790	531	785
<b>C.V.</b>	0.08	-	0.14	0.12	0.16	0.13	-	0.09
<b>n° el.</b>	4	2	22	20	16	33	2	23

Tabella 3. Principali statistiche dell'allungamento a rottura degli acciai Lisci (L) e Nervati (N).

Allungamento a rottura (%)								
	< 1961		1961-1971		1972-1981		>1981	
	L	N	L	N	L	N	L	N
<b>media</b>	31.5	12.5	26.9	25.5	28.0	19.4	24.4	16.8
<b>mediana</b>	31.5	12.5	28.0	26.6	27.1	20.3	24.4	16
<b>dev. st.</b>	2.6	-	7.8	8.1	4.2	5.3	-	5.1
<b>min</b>	28.2	12.5	8.1	2.9	21.4	11	24.0	7.1
<b>max</b>	34.6	12.5	40.0	38.6	36.4	32	24.7	25.6
<b>C.V.</b>	0.08	-	0.29	0.32	0.15	0.27	-	0.30
<b>n° el.</b>	4	1	22	20	15	32	2	23

Un primo confronto è stato ottenuto andando a diagrammare i valori medi delle caratteristiche degli acciai lisci e nervati per i diversi intervalli temporali considerati (Figg. 1-3).

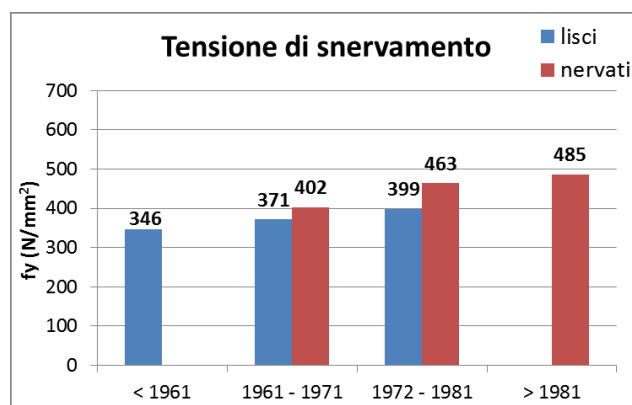


Figura 1. Variazione nel tempo del valore medio della tensione di snervamento: confronto tra acciai lisci e nervati.

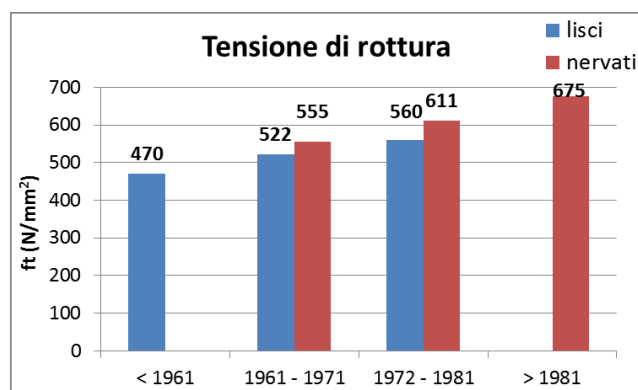


Figura 2. Variazione nel tempo del valore medio della tensione di rottura: confronto tra acciai lisci e nervati.

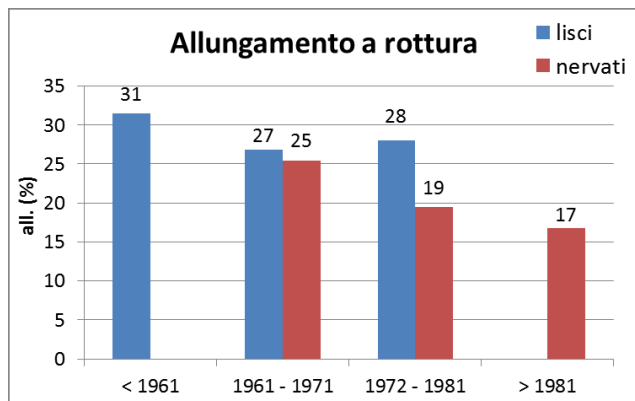


Figura 3. Variazione nel tempo del valore medio dell'allungamento percentuale a rottura: confronto tra acciai lisci e nervati.

Osservando i grafici riportati nelle Figg. 1-3 si nota che nel periodo antecedente al 1961 manca il dato relativo agli acciai nervati, mentre nel periodo successivo al 1981 manca il dato relativo agli acciai lisci. In realtà per entrambi i periodi erano presenti pochissimi (2) risultati, per cui si è ritenuto opportuno non diagrammarli.

Analizzando gli acciai lisci in termini di tensione di snervamento ( $f_y$ ) si osserva come con il procedere del periodo in cui si è realizzata l'opera, la tensione media di snervamento tenda ad aumentare. Tale andamento si conferma anche nel caso di tensione di rottura ( $f_t$ ). Per quanto riguarda l'allungamento percentuale a rottura, partendo dalla classe <1961 tale parametro tende a decrescere tranne che nell'intervallo 1972-1981 dove presenta un valore più alto della classe 1961-1971 ma comunque inferiore alla classe <1961.

Passando ad analizzare gli acciai ad aderenza migliorata in funzione della tensione di snervamento ( $f_y$ ) si riscontra una tendenza crescente con il procedere del periodo in cui si è realizzata l'opera, in analogia a quanto trovato per gli acciai lisci. Tale andamento si ritrova anche nel caso si consideri la tensione di rottura ( $f_t$ ). Per quanto riguarda l'allungamento percentuale a rottura emerge che tale valore decresce in modo pressoché costante nel corso degli anni.

Un confronto interessante è quello tra acciai lisci e nervati. Infatti, considerando la tensione di snervamento, nei due intervalli temporali in cui sono presenti entrambi i valori (1961-71, 1972-81), l'acciaio ad aderenza migliorata presenta un valore medio superiore rispetto a quello liscio, coerentemente ai valori nominali delle proprietà meccaniche dei due tipi di acciaio. Analogo risultato si ottiene con riferimento alla tensione di rottura. Osservando il grafico relativo

all'allungamento a rottura emerge come gli acciai lisci presentino un valore maggiore di quelli nervati, anche in questo caso in coerenza con quanto atteso rispetto ai valori nominali previsti nelle relative norme di riferimento.

Purtroppo un confronto diretto dei valori in esame con quelli previsti dalla normativa del periodo non è possibile farlo, in quanto nel database a disposizione vi sono i dati della classica prova di trazione ma non sono presenti informazioni riguardanti la categoria di acciaio.

In generale si può affermare che le caratteristiche medie degli acciai prelevati da strutture esistenti costruite nel corso degli anni presentano ancora una differenza in termini di caratteristiche meccaniche a seconda che si consideri una barra di tipo liscio o una di tipo ad aderenza migliorata e tale differenza compare in tutti e tre i parametri che caratterizzano l'acciaio da c.a. normale.

Per quanto riguarda la dispersione, si rilevano valori del coefficiente di variazione C.V. compresi tra il 10-20% sia per la tensione di snervamento che per quella di rottura senza una chiara tendenza all'incremento o alla riduzione nel corso del tempo e con valori lievemente più elevati per gli acciai lisci. Si rilevano valori piuttosto alti del C.V., fino ad oltre il 30%, per l'allungamento percentuale a rottura, in questo caso maggiori per gli acciai nervati.

#### 4.1 Confronto con i dati ottenuti dai certificati di accettazione (database STIL V1.0)

Dopo aver confrontato tra loro gli acciai lisci e quelli nervati, un'operazione interessante è stata quella di confrontare i risultati ottenuti dal database considerato nel presente lavoro (DB UNIBAS) con quelli ottenuti adoperando il software STIL V1.0 (Verderame et al. 2011) di cui si è già accennato nel paragrafo 2.

L'aspetto principale che differenzia il database di STIL V1.0 da quello UNIBAS è, oltre al numero di campioni notevolmente più elevato a disposizione di STIL V1.0, l'origine dei dati. Infatti, mentre STIL V1.0 si basa su un database di migliaia di certificati emessi per controlli di accettazione su strutture in fase di realizzazione, e quindi su barre "nuove", il database UNIBAS si basa esclusivamente su prelievi di barre effettuati su strutture in cemento armato esistenti. Il vantaggio di utilizzare prelievi di barre da strutture esistenti, rispetto a quello ottenuto dalle sole prove di accettazione, risiede principalmente

nel fatto che il campione a disposizione può considerarsi rappresentativo della reale resistenza degli acciai attualmente presenti nelle costruzioni, in quanto, a causa del tempo passato dal momento della costruzione a quello del prelievo, il materiale potrebbe aver subito l'effetto di quei fenomeni che possono portare al degrado e alla variazione delle caratteristiche meccaniche.

STIL V1.0 è un software versatile che consente di ottenere le informazioni sugli acciai impostando di volta in volta i dati a disposizione. Il programma permette di definire la tipologia di acciaio potendo scegliere tra liscio, nervato, o considerandoli indistintamente. Inoltre è possibile selezionare il periodo di riferimento immettendo l'anno iniziale e quello finale. Un'altra opzione a disposizione è, qualora la si conosca, quella di poter selezionare la categoria dell'acciaio. Se tale opzione non viene selezionata vengono portate in conto tutte le categorie di acciaio presenti in quel periodo.

Il risultato che si ottiene impostando i parametri, sono le caratteristiche meccaniche espresse in termini di tensione di snervamento, rapporto di incrudimento e allungamento a rottura.

Impostando opportunamente i parametri di input in STIL V1.0 è possibile fare un confronto tra i risultati ottenuti dalla sua applicazione con quelli ottenuti dai dati qui utilizzati, in modo da esaminare eventuali differenze tra i due database che sono stati predisposti in modo del tutto indipendente tra di loro. Il confronto verrà effettuato per ogni periodo, considerando separatamente i due tipi di acciaio (liscio e nervato) e senza nessuna distinzione per quanto riguarda la categoria.

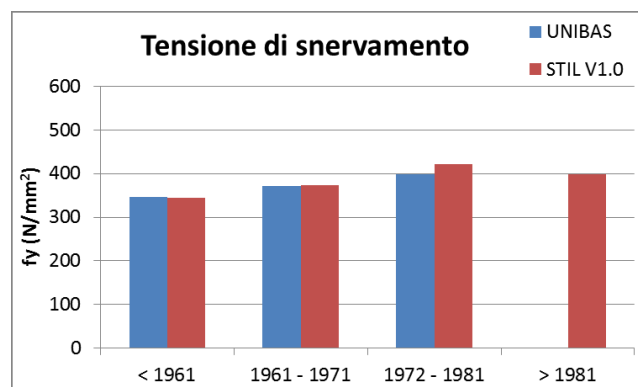


Figura 4. Variazione nel tempo del valore medio della tensione di snervamento per barre lisce: confronto tra i DB UNIBAS e STIL V1.0.

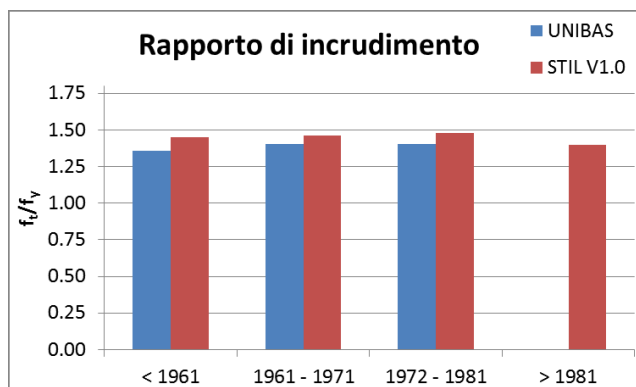


Figura 5. Variazione nel tempo del valore medio del rapporto di incrudimento  $f_t/f_y$  per barre lisce: confronto tra i DB UNIBAS e STIL V1.0.

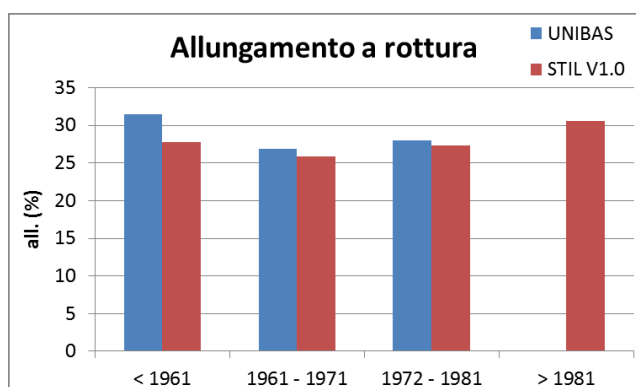


Figura 6. Variazione nel tempo del valore medio dell'allungamento percentuale a rottura per barre lisce: confronto tra i DB UNIBAS e STIL V1.0.

Osservando i grafici riportati nelle Figg. 4-6 emerge l'assenza di dati nel periodo >1981 per il database UNIBAS. Questa mancanza è dovuta al fatto che in quella classe ricadono solo due risultati, per tale motivo si è preferito non riportare la colonna in quanto poco significativa dal punto di vista statistico.

Partendo ad analizzare la tensione di snervamento si osserva un andamento molto simile tra UNIBAS e STIL V1.0. Praticamente si ha la stessa tendenza spostandosi tra le varie classi di periodo con differenze che appaiono del tutto irrilevanti. Un discorso analogo può essere fatto se si analizza il rapporto di incrudimento, dove l'andamento tra gli istogrammi è molto simile tra loro con valori ottenuti da STIL V1.0 che appaiono leggermente superiori a quelli ottenuti da UNIBAS. Infine, passando ad analizzare l'allungamento a rottura si riscontra, ancora una volta, un andamento simile tra i due campioni. Questa volta però, i valori ottenuti da UNIBAS sono leggermente superiori a quelli ricavati da STIL V1.0. A conferma della simile tendenza si può notare, ad esempio, come il valore dell'allungamento a rottura riferito al periodo 1961-1971 sia inferiore a quello delle



classi adiacenti e ciò risulta vero sia se si considera il campione di UNIBAS sia se si considera il campione di STIL V1.0.

Passiamo ora ad effettuare il confronto per il campione delle barre ad aderenza migliorata che viene riportato nelle Figg. 7-9.

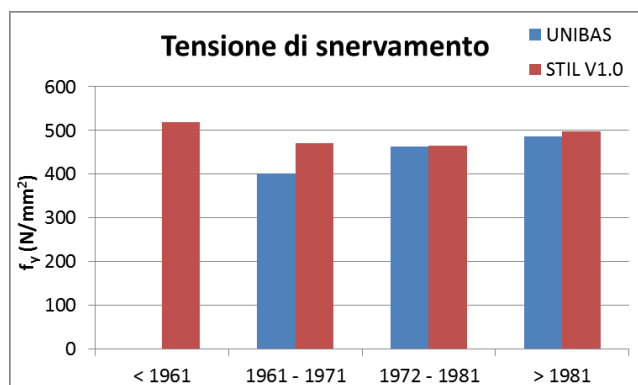


Figura 7. Variazione nel tempo del valore medio della tensione di snervamento per barre ad aderenza migliorata: confronto tra i DB UNIBAS e STIL V1.0.

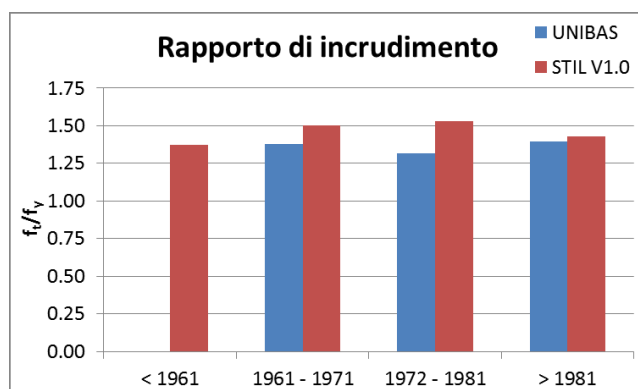


Figura 8. Variazione nel tempo del valore medio del rapporto di incrudimento  $f_t/f_y$  per barre ad aderenza migliorata: confronto tra i DB UNIBAS e STIL V1.0.

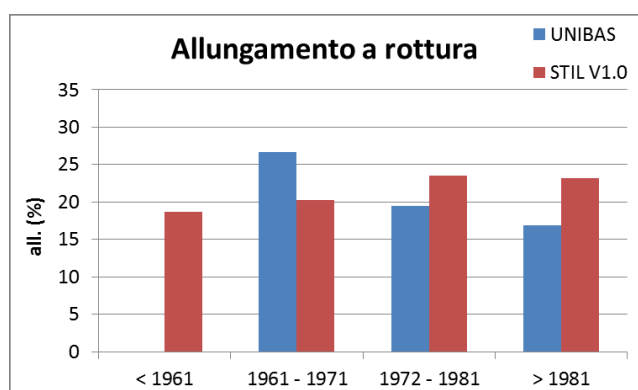


Figura 9. Variazione nel tempo del valore medio dell'allungamento percentuale a rottura per barre ad aderenza migliorata: confronto tra i DB UNIBAS e STIL V1.0.

Osservando i grafici nelle Figg. 7-9 si nota che nel periodo <1961 la colonna del DB UNIBAS è assente. Tale mancanza è dovuta al fatto che in questa classe ricadono solo due elementi di barre nervate, per tale motivo si è preferito non

riportarla in quanto poco significativa dal punto di vista statistico.

Analizzando il grafico in Fig. 7, relativo alla tensione di snervamento, emergono valori medi praticamente coincidenti tra i dati dei due database UNIBAS e STIL V1.0, ad eccezione del periodo 1961-1971. In generale i valori del DB STIL V1.0 sono, seppur leggermente, maggiori ma non mostrano una chiara tendenza nel tempo, al contrario i valori del DB UNIBAS sono crescenti nel tempo passando da un valore medio di circa 400 N/mm<sup>2</sup> (1961-71) a circa 490 N/mm<sup>2</sup> per il periodo post 1981.

Per quanto riguarda il rapporto di incrudimento (Fig. 8) rimangono differenze limitate tra i due DB seppur più evidenti rispetto a quanto trovato per la  $f_y$ . Anche in questo caso i valori del DB STIL V1.0 sono generalmente maggiori, ma in entrambi i DB non emerge una chiara tendenza nel tempo

Infine, nel caso dell'allungamento percentuale a rottura, le differenze tra UNIBAS e STIL V1.0 appaiono molto più accentuate. Ciò potrebbe derivare anche da una maggiore difficoltà nell'eseguire accuratamente in modo standard le misure di tale parametro, rispetto alle resistenze  $f_y$  e  $f_t$ , dunque determinando maggiore dispersione nei risultati ottenuti come già emerso dai valori del C.V. riportati nelle Tabelle 1-3 per il DB UNIBAS. Va però evidenziata, anche per i suoi risvolti sulle prestazioni sismiche degli edifici in c.a., la tendenza ad una significativa riduzione nel tempo dei valori medi ottenuti nel DB UNIBAS, che vanno da un massimo superiore al 25% relativo al periodo 1961-71 a circa il 15% per il periodo post 1981.

I confronti effettuati mostrano differenze molto limitate per l'acciaio liscio tra i due DB UNIBAS e STIL V1.0 in termini di valori medi della tensione di snervamento, del rapporto di incrudimento e dell'allungamento percentuale a rottura. Per quanto riguarda i dati relativi agli acciai ad aderenza migliorata permangono differenze piuttosto limitate per la tensione di snervamento, mentre emergono differenze maggiori per il rapporto di incrudimento e, ancor di più, per l'allungamento percentuale a rottura.

#### 4.2 Analisi statistiche di confronto tra i DB UNIBAS e STIL V1.0

Dopo aver esaminato e confrontato in termini di andamento dei valori medi i dati contenuti nei due database, appare interessante capire se le

differenze riscontrate possano o meno ritenersi casuali. In altre parole si vuole capire se i campioni costituiti dai due database UNIBAS e STIL V1.0 possano essere considerati provenienti da un'unica popolazione o da popolazioni diverse. Per rispondere in modo oggettivo a questa domanda è necessario effettuare degli opportuni test statistici. Nel caso in esame abbiamo a disposizione due diversi campioni, ognuno dei quali presenta un certo numero di elementi. In problemi di questo tipo il test statistico più appropriato risulta essere il test “*t di Student*”. La distribuzione di probabilità della variabile aleatoria “*t*” è a forma di campana e simmetrica, con una dispersione che diminuisce all'aumentare del numero dei gradi di libertà. Pertanto all'aumentare del numero di elementi *n*, la distribuzione *t* di Student tende a una distribuzione Normale.

Il test può essere applicato in due modi:

- in forma bilaterale: quando vogliamo sapere se le medie sono uguali o diverse (test a due code);
- in forma unilaterale: quando vogliamo sapere se una media è maggiore dell'altra (test a una coda).

In genere quando non è escludibile a priori che una media è maggiore dell'altra è preferibile eseguire sempre un test a due code.

Il test di significatività tra due medie campionarie comporta un'ipotesi zero, o ipotesi nulla, secondo la quale le due medie a confronto ( $\mu_1$  e  $\mu_2$ ) sono estratte dalla stessa popolazione, di conseguenza le differenze effettivamente riscontrate nelle medie campionarie sarebbero imputabili a variazioni casuali, come effetti dovuti al campionamento, cioè all'estrazione casuale di alcuni dati da un universo teoricamente infinito formato da valori tra loro diversi e con una distribuzione normale intorno alla loro media. In definitiva l'ipotesi nulla  $H_0$ , che di solito è alla base di questo test, è che le due medie della popolazione sono identiche, mentre l'ipotesi alternativa  $H_1$  è che le due medie sono diverse, ovvero:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad (1)$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \quad (2)$$

I test effettuati sono test sulla media campionaria a due code con un livello di confidenza  $\alpha = 0.05$ . Nelle Tabelle 4 e 5 viene riportato l'esito dei test indicando il valore ottenuto *T*, il valore limite di accettazione  $T_{0.05}$  e, nell'ultima riga, l'esito del test, indicando con

“OK” se il test è verificato, ovvero non è possibile rigettare l'ipotesi  $H_0$ , e con “NO” il caso contrario, ovvero quando bisogna rigettare l'ipotesi  $H_0$  e accettare l'ipotesi  $H_1$ .

Tabella 4. Risultati del test *t* di Student per gli acciai lisci.

	$\alpha=0.05$	Risultati del test			
		<1961	1961-71	1972-81	>1981
$f_y$	<b>T</b>	0.08	-0.21	-1.59	-1.06
	<b>T<sub>0.05</sub></b>	2.24	2.24	2.25	2.27
	<b>Risultato</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>
$f_t/f_y$	<b>T</b>	-1.3	-0.3	-0.48	-0.18
	<b>T<sub>0.05</sub></b>	2.24	2.24	2.25	2.27
	<b>Risultato</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>
all. (%)	<b>T</b>	1.43	1.01	0.54	-1.03
	<b>T<sub>0.05</sub></b>	2.24	2.24	2.25	2.27
	<b>Risultato</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>

Per quanto riguarda la tensione di snervamento il test ha dato esito positivo su tutti e quattro i periodi considerati, ciò vuol dire che le differenze riscontrate, in termini di valor medio, risultano così piccole da poter affermare che i due campioni possono essere considerati estratti dalla stessa popolazione. Anche per il rapporto di incrudimento e l'allungamento a rottura il test ha dato esito positivo su tutti e quattro i periodi considerati.

In conclusione, osservando l'esito dei test eseguiti sugli acciai lisci, si può affermare che non ci sono differenze significative tra i due campioni, ovvero sia considerando il campione degli acciai ottenuto dalle prove di accettazione (ovvero provini “nuovi”), che considerando il campione degli acciai estratti da strutture esistenti (ovvero prelievi di armatura) il risultato finale è pressoché lo stesso se viene considerato in termini medi.

Tale risultato appare di rilevante significato soprattutto per la valutazione della vulnerabilità di edifici esistenti in quanto mostra come le caratteristiche degli acciai lisci varino poco col passare degli anni. Di conseguenza, per uno studio di vulnerabilità di edifici esistenti in c.a. in cui sia stato utilizzato l'acciaio liscio, si può ritenere che sia sufficiente prelevare un numero limitato di barre di armatura, soprattutto se dalla documentazione progettuale reperita risulta possibile risalire al tipo di acciaio utilizzato o



previsto in fase di progetto. Può bastare, e non andrebbe evitato, effettuare quantità limitate di prelievi per poter stimare i valori medi delle proprietà meccaniche, verificando che l'acciaio messo in opera corrisponda a quello previsto in fase di progetto.

In Tabella 5 vengono riportati i risultati del test t di Student per il campione di barre ad aderenza migliorata.

Tabella 5. Risultati del test t di Student per gli acciai nervati.

	$\alpha=0.05$	Risultati del test			
		<1961	1961-71	1972-81	>1981
$f_y$	<b>T</b>	0.4	-6.09	-0.25	-0.98
	<b>T<sub>0.05</sub></b>	2.26	2.24	2.24	2.24
	<b>Risultato</b>	<b>OK</b>	<b>NO</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>
$f_t/f_y$	<b>T</b>	0.32	-6.37	-14.46	-0.51
	<b>T<sub>0.05</sub></b>	2.26	2.24	2.24	2.24
	<b>Risultato</b>	<b>OK</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>OK</b>
all. (%)	<b>T</b>	-	8.73	-5.11	-6.78
	<b>T<sub>0.05</sub></b>	-	2.24	2.24	2.24
	<b>Risultato</b>	-	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>

Osservando i risultati ottenuti per la tensione di snervamento risulta che il test è verificato per tre classi su quattro, solo nella classe 1961-1971 il test non ha dato esito positivo, ciò significa che in tale classe vi sono delle differenze che possono ritenersi significative. Passando ad analizzare il rapporto di incrudimento si rileva che in due casi su quattro il test non risulta verificato. Infine, per quanto riguarda l'allungamento percentuale, per la classe <1961 non è stato possibile effettuare il test in quanto era presente un solo valore. In tutti gli altri tre casi il test ha dato esito negativo, di conseguenza tra i due campioni sono presenti differenze non trascurabili.

Dall'analisi dei test effettuati sui campioni UNIBAS e STIL V1.0 relativi agli acciai ad aderenza migliorata, si riscontrano differenze maggiori rispetto al caso di barre lisce. Soltanto nel caso della tensione di snervamento il test è stato superato tre volte su quattro quindi, in linea di massima, si può comunque ritenere che non vi siano differenze significative tra il campione proveniente dalle prove di accettazione e quello proveniente dai prelievi nelle strutture esistenti. Tale risultato appare in controtendenza rispetto a

quanto trovato per gli acciai lisci facendo ritenere che gli acciai ad aderenza migliorata presentino variazioni non trascurabili delle loro proprietà col passare degli anni. Pertanto, per valutazioni di vulnerabilità di edifici in cui è presente acciaio nervato, ed a parità di informazioni disponibili sulla struttura in esame, si dovrebbero prelevare un numero maggiore di barre di armatura rispetto al caso degli acciai lisci.

## 5 CONCLUSIONI

La conoscenza delle caratteristiche meccaniche dei materiali rappresenta un passo preliminare e di notevole importanza nella valutazione della vulnerabilità degli edifici. Nella valutazione di singoli edifici le attuali norme italiane (NTC2008), europee (EC8-3) ed internazionali (es. FEMA 356) prevedono prove sui materiali costituenti dai cui risultati derivano le resistenze di calcolo che prescindono dai valori nominali previsti nella progettazione di edifici nuovi, come ad esempio quelli riferiti alle classi discretizzate previste nelle NTC2008.

Per dare un contributo alla conoscenza delle caratteristiche meccaniche dei materiali di strutture esistenti in cemento armato, nel presente studio è stato analizzato un ampio database di risultati di prove a trazione su barre di armatura prelevate da numerosi edifici scolastici presenti sul territorio della regione Basilicata.

Dall'analisi dei risultati è emerso come le caratteristiche meccaniche degli acciai siano generalmente migliorate nel corso degli anni. Inoltre, tenuto conto che l'acciaio è un materiale di produzione industriale e con caratteristiche che fisiologicamente non variano in modo significativo nel tempo, si è effettuato un confronto tra i dati considerati nel presente studio (DB UNIBAS), relativi a barre prelevate da strutture esistenti, e i dati relativi ad edifici in corso di realizzazione provenienti dai certificati relativi ai controlli di accettazione (DB STIL V1.0). Da tale confronto sono emerse differenze di entità differente in funzione del tipo di acciaio e della proprietà meccanica considerata.

Per gli acciai lisci sono emerse differenze trascurabili tra i due DB facendo ritenere che le caratteristiche meccaniche rimangono praticamente invariate nel tempo.

Al contrario, per gli acciai ad aderenza migliorata sono emerse differenze rilevanti facendo ritenere che le caratteristiche meccaniche

possano variare maggiormente con il tempo, in particolare se si considera il rapporto di incrudimento  $f_t/f_y$  e, ancor più, l'allungamento percentuale a rottura. Una variazione non molto elevata si riscontra invece, per la tensione di snervamento. I valori medi risultano generalmente inferiori nei campioni estratti.

Complessivamente emerge una limitata dispersione dei valori ottenuti dalle prove sulle barre estratte in contrapposizione con la forte variabilità dei risultati ottenuti dalle prove sul calcestruzzo in-situ (Masi 2008; Masi e Vona 2009). Ciò nonostante le attuali norme (es. la circolare 617/09) non fanno nessuna distinzione tra calcestruzzo ed acciaio riguardo al numero minimo di prelievi richiesti per ottenere i diversi livelli di conoscenza previsti. Tale situazione appare troppo penalizzante per l'acciaio il quale, data la sua minore variabilità, dovrebbe richiedere, almeno in termini relativi, un minor numero di prelievi per poter essere caratterizzato con altrettanta affidabilità rispetto al calcestruzzo.

Inoltre, nel caso di edificio costruito con l'uso di barre lisce e di cui sia possibile reperire il progetto originale, il numero di prelievi richiesto si potrebbe diminuire ulteriormente data la bassa differenza di caratteristiche meccaniche osservata tra gli acciai prelevati in situ e quelli testati per i controlli di accettazione prima della messa in opera. Tuttavia, va sottolineato che un numero minimo di prelievi è comunque necessario per verificare la corrispondenza in termini di tipo e categoria, tra l'acciaio previsto in fase di progettazione e quello realmente messo in opera.

## REFERENCES

- CEN, 2005. Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of buildings, EN 1998-3, Brussels.
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617. Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009, Supplemento Ordinario n. 27.
- Decreto ministeriale 14 gennaio 2008. Norme Tecniche per le Costruzioni NTC2008. Supplemento ordinario n. 30 Gazzetta Ufficiale 4 febbraio 2008, n 29.
- FEMA 356 (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington D.C., November 2000.
- Masi, A., 2003. Seismic vulnerability assessment of gravity load designed R/C frames, Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 1, N. 3, pp. 371-395, 2003.
- Masi, A., 2008. Analisi di dati sperimentali per la stima degli effetti dell'estrazione sulla resistenza di carote prelevate da strutture in c.a., Atti del convegno ReLUIIS "Valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti in c.a.", Roma, 29-30 maggio 2008.
- Masi, A., Vona, M., 2009. Estimation of the In-Situ Concrete Strength: Provisions of the European and Italian Seismic Codes and Possible Improvements, Proc. of the Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, (E. Cosenza editor), Napoli 1-3 aprile 2009.
- Ricci, P., Verderame, G.M., Manfredi, G., 2011. Analisi statistica delle proprietà meccaniche degli acciai da cemento armato utilizzati tra il 1950 e il 1980. Atti del XIV Convegno ANIDIS "L'Ingegneria Sismica in Italia", Bari, 18 - 22 settembre 2011.
- Verderame, G.M., Stella, A., Cosenza, E., 2001. Le proprietà meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in c.a. realizzate negli anni '60. Atti del X Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Potenza e Matera 9-13 Settembre 2001.
- Verderame, G.M., Ricci, P., Esposito, M., Sansiviero, F.C., 2011. Le caratteristiche meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in c.a. realizzate dal 1950 al 1980. Atti del XXVI Convegno Nazionale AICAP "Le prospettive di sviluppo delle opere in calcestruzzo strutturale nel terzo millennio", Padova, 19-21 maggio 2011.