

# LE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEGLI ACCIAI IMPIEGATI NELLE STRUTTURE IN C.A. REALIZZATE DAL 1950 AL 1980

**Gerardo Mario Verderame, Paolo Ricci, Marilena Esposito, Filippo Carlo Sansiviero**

Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Università degli Studi di Napoli Federico II

## SOMMARIO

La valutazione della vulnerabilità degli edifici esistenti in cemento armato è senza dubbio diventato un tema prioritario della ingegneria sismica risultando oggetto di continui aggiornamenti nell'ambito sia della letteratura tecnica che delle indicazioni normative dell'ultimo decennio. Nelle principali normative internazionali la verifica sismica della singola struttura include una iniziale fase di conoscenza che influenza in maniera non secondaria il risultato della fase di analisi. Il processo di conoscenza riguarda tre aspetti principali: la geometria degli elementi strutturali, i dettagli di armatura ed infine le caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti. Proprio questo ultimo aspetto può divenire un limite per una adeguata conoscenza della struttura, necessaria per l'utilizzo di metodologie di analisi più accurate, da ricondursi senz'altro alla caratteristica di forte invasività delle metodologie dirette; tale aspetto investe soprattutto le barre in acciaio, in quanto i metodi diretti (più invasivi) non possono trovare una alternativa o quanto meno una complementarietà nelle metodologie indirette come avviene per il calcestruzzo.

Il presente lavoro illustra una analisi statistica delle caratteristiche meccaniche degli acciai di armatura utilizzati in Italia tra il 1950 ed il 1980, basata sui dati delle schede di prova dell'archivio del laboratorio sperimentale del Dipartimento di Ingegneria Strutturale dell'Università di Napoli Federico II. I parametri considerati includono le resistenze allo snervamento e ultima e l'allungamento ultimo percentuale. Inoltre, i dati raccolti consentono di valutare la diffusione di differenti tipologie di armatura (ad esempio se liscia o nervata o la classificazione commerciale) nell'arco temporale oggetto dello studio. I valori medi e le relative misure di dispersione sono valutati a seconda della tipologia considerata e del periodo di interesse.

## SUMMARY

Seismic vulnerability assessment of existing reinforced concrete buildings is a major issue in earthquake engineering; both technical literature and code provisions have been addressing great attention to this issue during last years. According to main international codes, seismic assessment of a structure starts from a knowledge process which significantly influences the following analysis. Such process includes geometry of structural elements, reinforcement details and mechanical characteristics of materials. The latter aspect can limit the knowledge level, thus influencing the applicability of more advanced analysis methodologies, due to the disadvantages of destructive tests. This is particularly true for reinforcing bars since no indirect test method is present as an alternative to destructive methods, as for concrete.

In this study, a statistical analysis of mechanical characteristics of reinforcing bars used in Italy between 1950 and 1980 is presented, based on a large number of archive data from the steel testing laboratory of the Department of Structural Engineering at the University of Naples Federico II. Considered parameters include yield and ultimate strength and ultimate strain. Moreover, collected data allow to estimate the spread of different reinforcement typologies (such as plain or deformed bars and commercial typology) across the observed time period. Most probable values and corresponding dispersion measures are estimated according to the typology and the time of interest. Provided data can be usefully employed in the assessment of RC buildings, especially when a poor knowledge level is present, such as, for instance, in large scale seismic vulnerability assessment procedures.

## 1. INTRODUZIONE

Il presente studio focalizza l'attenzione sulle principali caratteristiche meccaniche degli acciai da cemento armato (c.a.) utilizzati nel trentennio 1950-1980. Durante quest'arco temporale il processo produttivo dell'acciaio ha subito un profondo mutamento, anche in ragione del progressivo miglioramento della processo industriale nazionale. Poiché la maggior parte degli edifici esistenti è stata realizzata in questo arco temporale, risulta di notevole interesse lo sviluppo di un'analisi di tipo statistico, su larga scala, relativamente alle caratteristiche meccaniche dei suddetti acciai.

Nell'ambito di un processo di valutazione delle prestazioni di una struttura esistente, potrebbe essere utile affiancare alle conoscenze normative una caratterizzazione probabilistica delle proprietà meccaniche dei materiali utilizzati, pertanto il seguente lavoro è volto all'individuazione di un metodo semi-quantitativo che consenta la simulazione statistica delle proprietà meccaniche degli acciai, analizzando parametri caratteristici relativi ad un vasto numero di prove a trazione eseguite per la realizzazione di opere civili nell'area campana.

La normativa tecnica italiana ha regolamentato le caratteristiche meccaniche degli acciai per c.a. fin dai primi anni del '900. Concentrando l'attenzione sulle normative che interessano il trentennio in esame, va ricordato, innanzitutto, il Regio Decreto legge 16/11/1939 n° 2228-2232 [1] le cui prescrizioni relativamente agli acciai lisci sono rimaste in vigore fino al 1972, in quanto di fatto la Circolare del Ministero dei LL.PP. 23/05/1957 n.1472 [2] cambia solo la denominazione delle categorie di acciaio ma non i contenuti.

Il Regio Decreto legge 16/11/1939 n° 2228-2232 viene introduce una classificazione dell'acciaio da c.a. definita da tre categorie: acciaio dolce, semiduro e duro. I parametri meccanici considerati in questa classificazione sono il carico di rottura a trazione, la tensione di snervamento e l'allungamento percentuale a rottura. I limiti indicati dalla norma sono riportati in Tabella 1. E' da ricordare, inoltre, che negli anni del dopoguerra, vista la situazione eccezionale e l'urgenza di ricostruire, viene consentito l'utilizzo di acciai non sempre rispettosi dei limiti normativi.

Tabella 1 - Evoluzione temporale delle principali indicazioni normative relative alla classificazione degli acciai di armatura

Normativa	R.D.L. n°2229/1939			LL.PP. n°1472/1957				D.M.30/05/1972					D.M. 30/05/1974			
Tipologia	liscio			liscio			a.m.	liscio		aderenza migliorata (a.m)			liscio		a.m.	
Denominazione	Dolce	Semi duro	Duro	Aq42	Aq50	Aq60	/	FeB22	FeB32	A38	A41	FeB44	FeB22	FeB32	FeB38	FeB44
Snervamento (kgf/mm <sup>2</sup> )	≥ 23	≥ 27	≥ 31	≥ 23	≥ 27	≥ 31	/	≥ 22	≥ 32	≥ 38	≥ 41	≥ 44	≥ 22	≥ 32	≥ 38	≥ 44
Rottura (kgf/mm <sup>2</sup> )	42-50	50-60	60-70	42-50	50-60	60-70	/	≥ 34	≥ 50	≥ 46	≥ 50	≥ 55	≥ 34	≥ 50	≥ 46	≥ 55
Allungamento (%)	≥ 20	≥ 16	≥ 14	≥ 20	≥ 16	≥ 14	≥ 12	≥ 24	≥ 23	≥ 14	≥ 14	≥ 12	≥ 24	≥ 23	≥ 14	≥ 12

Tale consuetudine si consolida nel tempo sino ai primi anni '60, nonostante le svariate Circolari, 25/09/1948 n. 2088 [3]; 8/06/1953 n. 1082 [4]; 20/05/1954 n.1433 [5], che richiamano gli Uffici Tecnici, preposti al controllo, alla stretta osservanza delle indicazioni del R.D.L. del 16/11/1939. Tale circostanza, come si vedrà in seguito, conduce a considerare una tipologia di acciaio aggiuntiva rispetto a quelle indicate dalla norma, categoria che definiremo *Comune*.

Viceversa, la possibilità di utilizzare acciai duri, ossia definiti da una maggiore resistenza specifica, consente di adottare sezioni ridotte. Per questo motivo a partire dal 1946, Circolare del Ministero dei LL.PP. n.1735 [6], è possibile utilizzare acciaio ad alto limite elastico, che nel seguente lavoro definiremo *ALE*.

Spartiacque nell'evoluzione normativa è la Circolare del Ministero dei LL.PP. 23/05/1957 n.1472 [7], che introduce non solo una nuova denominazione per le barre lisce - *AQ42*, *AQ50* e *AQ60*, equivalenti rispettivamente alle categorie dolce, semiduro e duro (denominazione utilizzata nel seguente lavoro) - ma contiene anche le prime indicazione sugli acciai ad aderenza migliorata.

Sempre con riferimento alle barre lisce un sostanziale cambiamento si ha con il Decreto Ministeriale del 30/5/1972 che divide gli acciai lisci in sole due categorie denominate *FeB22* ed *FeB32*, le cui caratteristiche meccaniche sono riportate in Tabella 1. Tale classificazione, rimane per gli acciai lisci sostanzialmente invariata con il successivo Decreto Ministeriale 30/05/1974 [8]. Si vuole evidenziare che la norma del 1972 getta le basi per quello che diventerà il calcolo agli stati limite, passando da un sistema di tipo deterministico a quello statistico attraverso l'introduzione del *valore caratteristico*, per cui la tensione di snervamento, così come quella ultima, non va intesa come valore medio ma la tensione che ha solo il 5% di probabilità di essere minorata dalla resistenza effettiva. I valori riportati in Tabella 1 vanno quindi intesi come valori caratteristici.

## 2 DESCRIZIONE DELLA POPOLAZIONE

Lo studio parte dalla raccolta e successiva analisi di dati relativi a prove di trazione su barre di acciaio, eseguite presso il *Laboratorio Prove Materiali* del Dipartimento di Scienza delle Costruzioni (attualmente Laboratorio Prove del *DIST*) della Facoltà d'Ingegneria dell'Università Federico II di Napoli, relative al trentennio 1950-1980.

In particolare, poiché la numerosità dei certificati di prove emessi dall'istituto è ovviamente andata ad aumentare nel tempo, al fine di ottenere una certa uniformità nella numerosità della popolazione per ognuno dei tre decenni esaminati sono state scelte differenti finestre temporali:

- decennio 1950-1960: prove emesse nei 12 mesi in tutti gli anni pari, ad esclusione di alcuni mesi del 1954 irreperibili e pertanto sostituite dai rispettivi mesi del 1955.

- decennio 1960-1970: prove relative ai soli mesi di maggio, giugno luglio, in quanto giugno è considerato rappresentativo dell'anno di riferimento, come valutato nel lavoro di riferimento [9] del presente studio; successivamente, per aumentare la popolazione, si è deciso di allargare la finestra temporale annua al mese precedente e successivo; solo per l'anno 1960 sono stati considerati tutti i mesi.
- decennio 1970-1980: prove emesse nel solo mese di giugno; inoltre, poiché non è stato possibile reperire i certificati relativi al 1970, si fa riferimento a quelli dello stesso mese del 1969.

Per la caratterizzazione meccanica degli acciai si è proceduto ad una prima importante suddivisione delle barre in lisce e nervate. In Figura 1 sono riportate le percentuali di barre lisce e ad aderenza migliorata sul campione annuo. Negli anni 1950 ed 1952 il campione è costituito solo da barre lisce, mentre nel 1954 compaiono le prime barre ad aderenza migliorata, che in particolare sono costituite da acciai cosiddetti Speciali. La percentuale di utilizzo di questi è tuttavia molto ridotta (~1%) fino al 1960.

A partire dal 1960 compare la tipologia di barre ad aderenza migliorata utilizzata tutt'oggi; nel decennio (1960-1970) si registra un sostanziale aumento dell'utilizzo delle barre nervate, che alla fine del decennio si traduce in un superamento nelle percentuali di utilizzo rispetto a quelle lisce. Nel successivo decennio (1970-1980) si registra, mediamente, un progressivo aumento dell'utilizzo delle barre nervate toccando l'80% nel 1980.

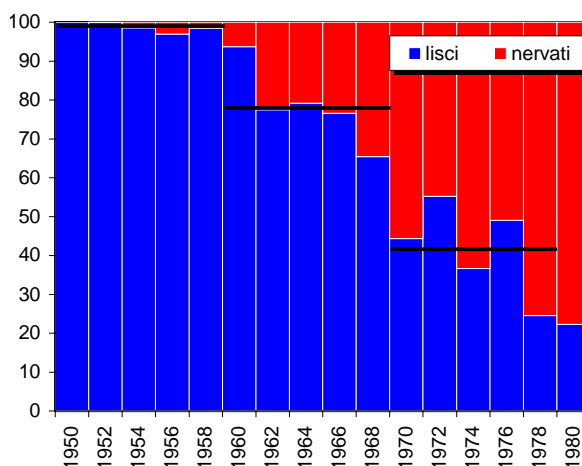


Figura 1. Percentuale di utilizzo acciai lisci e nervati

I parametri, caratterizzanti gli acciai, desumibili dalle schede delle prove sono: diametro delle barre; tensione di rottura; tensione di snervamento; allungamento a rottura.

Per quanto riguarda la popolazione degli acciai lisci sono stati raccolti 10'807 certificati di prova. Di queste sono state

scartate: 40 in quanto presentavano un diametro non compreso nell'intervallo 5–32 mm; 39 in quanto non era stata individuata la tensione di rottura, scelta come parametro principe per la classificazione; 19 in quanto non era stata riportata né la tensione di snervamento né la percentuale di allungamento; 150 in quanto era definita la tensione di snervamento; 228 in quanto era definita la percentuale di allungamento.

Ne risulta quindi una popolazione di 10'331 certificati di prova relativi ad acciai lisci tra il 1950 ed il 1980.

### 3 IL DATABASE DEGLI ACCIAI LISCI

La popolazione risultante, per quanto riguarda le barre lisce consta, di 10'331 prove, ed è caratterizzata da una numerosità decrescente nel tempo legata essenzialmente al fatto che l'acciaio liscio è stato progressivamente sostituito da quello ad aderenza migliorata.

Il diametro effettivo delle barre, di cui si riporta il diagramma delle frequenze, è compreso tra 5 e 32 mm (Figura 2). Il diametro mediamente provato è compreso tra  $\phi 12$  e  $\phi 16$  sia sull'intero trentennio che sui tre singoli decenni.

Successivamente, gli acciai lisci sono stati classificati in funzione delle disposizioni normative vigenti nell'anno in esame. In particolare, non essendo sempre riportata nei certificati di prova la categoria di appartenenza, la classificazione è stata eseguita sulla base delle caratteristiche meccaniche, ovvero tensione di rottura, quella di snervamento e allungamento a rottura, che la normativa vigente all'epoca indicava per ciascuna categoria.

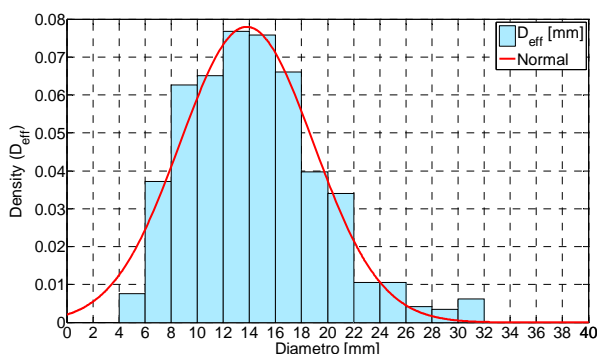


Figura 2. Distribuzione dei diametri utilizzati tra il 1950-1980

Le prove eseguite tra il 1950 ed il 1972 sono state classificate in cinque categorie:

- Comune
- AQ42
- AQ50
- AQ60
- ALE (acciai ad alto limite elastico)

ovvero in aggiunta alle tre categorie definite dal R.D.L. del 16/11/1939 n°2229 (ripostepe identicamente, per gli acciai lisci, dalla circolare del 23/05/1957 n°1472) sono state considerate due ulteriori categorie di acciaio denominate acciaio ad alto limite elastico (ALE), definita da una resistenza a rottura superiore a 70 kg/mm<sup>2</sup> (circa 700 MPa), ed acciai comuni (COM), caratterizzati da una tensione di rottura inferiore a 42 kg/mm<sup>2</sup> (circa 420 MPa). Per entrambe le categorie, essendo queste 'fuori norma', non è stato possibile definire delle condizioni sui restanti parametri meccanici; pertanto, queste risultano classificate in funzione della sola tensione di rottura.

Le prove eseguite tra il 1974 ed il 1980 fanno invece riferimento al D.M. del 30/05/1972 che vede la distinzione in due categorie:

- FeB22K
- FeB32K

Per quanto concerne la classificazione degli acciai lisci sull'intero trentennio è da evidenziare che dai certificati di prova raccolti e classificati in funzione della tensione di rottura 13 non hanno verificato la condizione normativa sulla tensione di snervamento, e per ben 180 non è soddisfatta quella sull'allungamento. Si ricorda che la verifica per le categorie COMUNI ed ALE, in quanto non normate, non sono state eseguite; queste due categorie di acciai costituiscono il 19% della popolazione non classificata (N.C.).

Si sottolinea, inoltre, che la classificazione è stata effettuata in base ai risultati di ciascuna prova e quindi non, necessariamente, viene a coincidere con la classificazione commerciale delle barre. In via esemplificativa, un acciaio commercialmente classificato come AQ50, nell'ambito del presente studio potrebbe essere stato considerato come Comune se rientrante nei limiti di questa ultima categoria.

Tutte le statistiche sono analizzate sia con riferimento a ciascuna delle categorie precedentemente definite che con riguardo alla popolazione nella sua globalità; quest'ultimo aspetto consente di valutare i parametri meccanici (e della corrispondente variabilità) senza alcuna conoscenza della categoria delle barre di armatura adoperata.

In Figura 3 si riporta è possibile vedere l'andamento delle percentuali di utilizzo dell'acciaio per le diverse categorie per ciascun anno esaminato. L'acciaio maggiormente utilizzato nel decennio 1950-1960 è l'AQ42 il quale costituisce il 55% della popolazione nell'anno 1950, percentuale che diminuisce gradualmente nel corso del decennio fino ad arrivare a circa il 40% nell'anno 1960. L'acciaio maggiormente utilizzato durante l'anno 1960 diviene l'AQ50; tale risultato rimane pressoché immutato per tutto il decennio che va dal 1960 al 1970. In particolare la percentuale di utilizzo di questa categoria di acciaio cresce costantemente dal 1950 a 1966, passando da circa il 12% del totale annuo fino ad oltre il 50%.

Negli anni successivi al 1966 si registra una diminuzione di questa percentuale, dovuta all'aumento sostanziale nell'utilizzo dell'AQ60, che prima di quel periodo risulta abbastanza marginale (5-10% negli anni 50 e 10-15% negli anni 60), mentre nel 1972 diviene predominante raggiungendo una quota del 40% sul totale annuo.

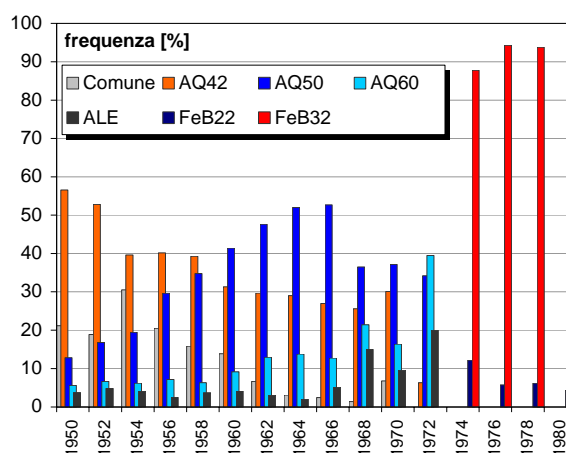


Figura 3. Percentuali di utilizzo dell'acciaio per le diverse categorie per ciascun anno esaminato

Per quanto riguarda le due categorie estreme, l'acciaio Comune, alquanto impiegato negli anni 50 (15-30%) mostra un trend decrescente, salvo una lieve ripresa nel 1970, fino a scomparire del tutto nel 1972; l'acciaio ad Alto Limite Elastico, invece, mostra un trend opposto, ovvero costituisce fino al 1966 un'aliquota molto bassa del campione annuo

(intorno al 5% se non minore) per poi aumentare lievemente tra il 1968 ed il 1972, rappresentando il 10-20% del campione.

Infine si osserva che dal 1974 al 1980 la popolazione è costituita quasi esclusivamente dall'acciaio tipo FeB32, che costituisce l'85-95% delle prove.

#### 4 ACCIAI LISCI: ANALISI DEI DATI

Per ciascuna delle tre caratteristiche meccaniche considerate, sono state valutate le densità di frequenza empiriche e le stime delle funzioni di densità di probabilità Normale e LogNormale considerando:

- uno stato di conoscenza quasi-nullo, ovvero nell'ipotesi di disporre la sola informazione di tipologia di acciaio, nello specifico di acciaio liscio;
- uno stato di conoscenza superiore, quando dai certificati o dalle tavole di progetto è possibile desumere anche la categoria di acciaio utilizzata.

Le analisi, sono quindi eseguite:

- sulla totalità delle prove;
- in funzione della classificazione adottata (categorie);
- relativamente a tre diverse finestre temporali: (i) sull'intero trentennio (1950-1980), (ii) per decennio, (iii) per ogni anno considerato

##### 4.1 Indagine sulla variabilità della tensione di snervamento $f_y$

In Figura 4 è riportato l'istogramma delle densità di frequenza che insiste sull'i-esimo intervallo di ampiezza costante  $\Delta x=30$  MPa della tensione di snervamento nel periodo 1950-1980. Si osservi come la distribuzione LogNormale approssima alquanto bene l'effettiva distribuzione. In Tabella 2 sono, inoltre, riportati i principali parametri statistici del database considerato e i parametri delle due distribuzioni, Normale e LogNormale.

I risultati riportati si possono utilmente adoperare in un processo di valutazione di un edificio esistente. Infatti, nel caso in cui lo stato di conoscenza sia limitato all'epoca di costruzione dell'edificio (trentennio 1950-1980), in assenza di ulteriori informazioni si può assumere una tensione di snervamento di 356.50 MPa ed una tensione di rottura di 518.61 MPa. La tensione di snervamento, è non dissimile da quella di un acciaio AQ50 valutata sul medesimo arco temporale, confermando il predominante utilizzo di tale categoria di acciaio nel trentennio analizzato.

Viceversa, se si dispone di uno stato di conoscenza superiore, ovvero qualora fosse nota la categoria di acciaio adoperata, è ovviamente possibile ridurre le incertezze legate alla determinazione delle caratteristiche meccaniche. In tal senso, come era prevedibile, le distribuzioni in funzione della categoria di acciaio mostrano una misura della dispersione intorno al valore atteso più bassa. Quindi se è nota anche la categoria di acciaio utilizzata, è possibile affidarsi a valori di tensioni di snervamento più realistici ed affetti da una minore incertezza.

In Figura 6 sono riportate gli istogrammi delle densità di frequenza della tensione di snervamento per le diverse categorie di acciaio liscio. In particolare le categorie Comune, AQ42, Aq50, Aq60 ed ALE sono riferite all'intervallo temporale 1950-1974, mentre le categorie FEB22 e FeB32 sull'intervallo 1974-1980 nel periodo 1950-1980.

In Tabella 3 e 4 sono riportati, i principali parametri statistici dei diversi database considerati e, inoltre, i parametri delle due distribuzioni, Normale e LogNormale, adottate.

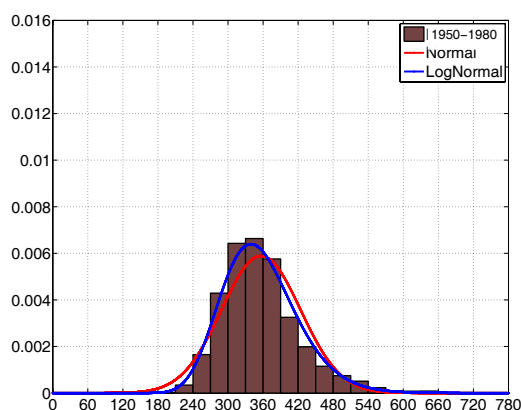


Figura 4. Diagramma di frequenza della tensione di snervamento relativo alla globalità del database degli acciai liscii sull'intero trentennio 1950-1980

Tabella 2 – I principali parametri statistici del database relativo all'intero trentennio 1950-1980 e relativi parametri delle due distribuzioni Normale e LogNormale adottate.

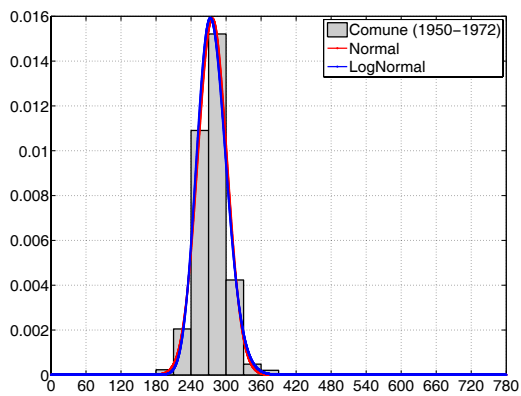
Periodo 1950-1980		$f_y$	$f_u$
n° prove		10331	10331
Media	[MPa]	356.50	518.68
Mediana	[MPa]	347.50	503.50
Dev.St.	[MPa]	67.80	100.71
Min	[MPa]	165.20	261.60
Max	[MPa]	884.20	1114.00
Kurtosi	[MPa]	5.595	4.656
LogNormal	$\mu$ [MPa]	5.860	3.931
	$\sigma$ [MPa]	0.181	0.185
Normal	$\mu$ [MPa]	356.50	518.68
	$\sigma$ [MPa]	67.80	100.71

Tabella 3 – I principali parametri statistici del database relativo alle categorie Comune, AQ42, Aq50, Aq60 ed ALE e relativi parametri delle due distribuzioni Normale e LogNormale adottate.

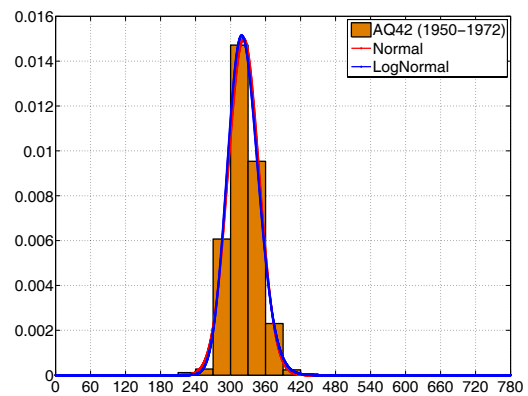
Periodo 1950-1972		Comune	AQ42	AQ50	AQ60	ALE
n°prove		1464	3520	3278	949	461
Media		276.47	322.34	370.90	435.45	512.06
Mediana		276.45	320.80	369.30	428.30	500.20
Dev.St.		25.10	26.59	31.84	50.06	65.41
min		165.20	211.90	212.80	294.30	260.80
max		386.20	486.30	557.00	656.80	884.20
kurtosi		4.320	4.728	6.186	6.652	6.749
LogNormal	$\mu$	5.618	5.775	5.912	6.070	6.230
	$\sigma$	0.091	0.082	0.084	0.109	0.122
Normal	$\mu$	276.47	322.34	370.90	435.45	512.06
	$\sigma$	25.10	26.59	31.84	50.06	65.41

Tabella 4 – I principali parametri statistici del database relativo alle categorie FeB22 e FeB32 e relativi parametri delle due distribuzioni Normale e LogNormale adottate.

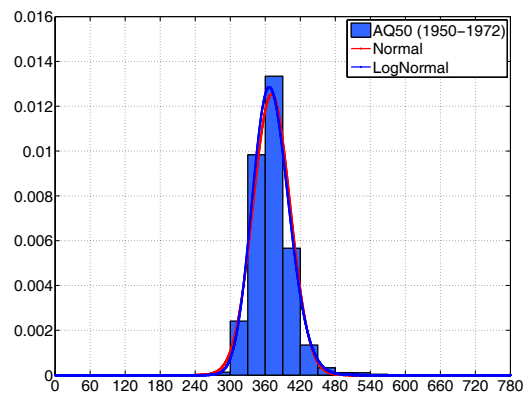
Periodo 1974-1980		FeB22K	FeB32K
n°campioni		47	612
Media		325.11	430.03
Mediana		332.00	420.00
Dev.St.		39.83	53.48
min		222.00	326.00
max		429.00	662.00
kurtosi		3.998	5.237
LogNormal	$\mu$	5.776	6.057
	$\sigma$	0.13	0.118
Normal	$\mu$	325.11	430.03
	$\sigma$	39.83	53.48



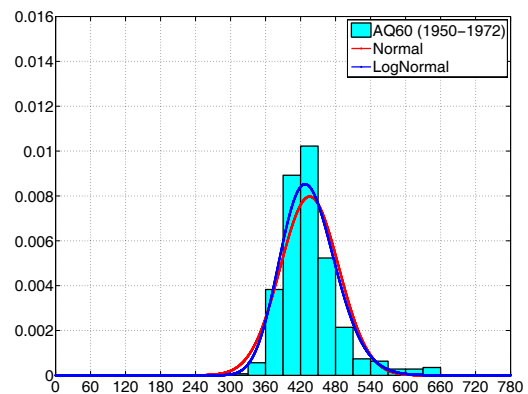
(a)



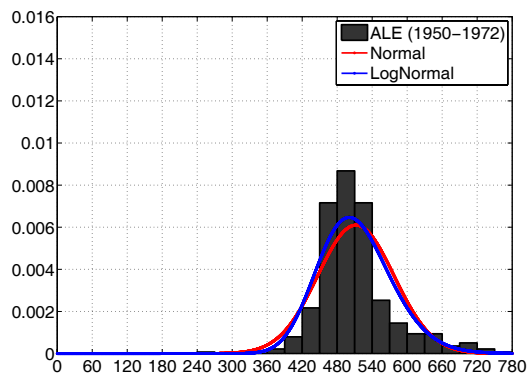
(b)



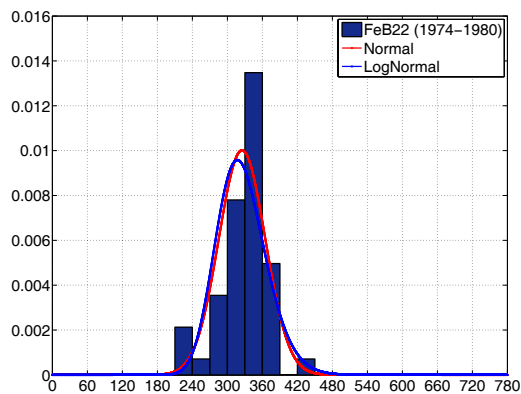
(c)



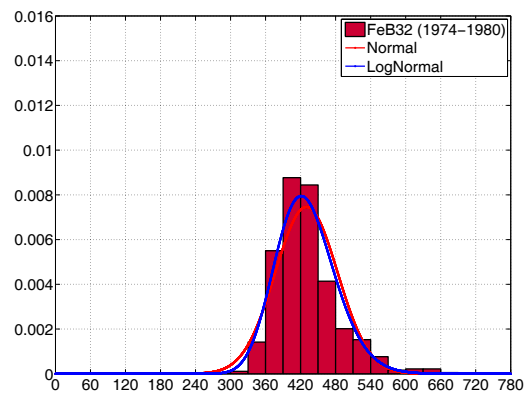
(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 5. Diagramma di frequenza della tensione di snervamento relativo: (a) acciaio tipo Comune, (b) acciaio tipo AQ42, (c) acciaio tipo AQ50, (d) acciaio tipo AQ60, (e) acciaio tipo ALE, (f) acciaio tipo FeB22 e (g) acciaio tipo FeB32.



In Figura 6a e Figura 6b sono riportati gli andamenti delle Normali e delle LogNormali per le differenti categorie, dalle quali si nota che all'aumentare della classe di resistenza le curve si spostano verso destra; ciò era atteso in quanto la variabilità della tensione di snervamento, risultando come si vedrà in seguito il rapporto d'incrudimento pseudo-costante, è essenzialmente condizionata dalla modalità di classificazione degli acciai in funzione di un range di valori entro il quale è contenuta la tensione di rottura. Inoltre le curve si abbassano e si allargano; ovvero la probabilità che si verifichi il valore atteso medio tende a diminuire, e le deviazioni standard tendono ad aumentare. Ciò è indice di una maggiore incertezza sulla tensione di snervamento per le tipologie di acciaio a resistenza maggiore.

Si ricorda, inoltre, che le tipologie FeB22 ed FeB32 fanno riferimento ad un periodo immediatamente successivo a quello delle altre categorie, per cui il fatto che la loro distribuzione tende a sovrapporsi rispettivamente a quella delle tipologie AQ42 ed AQ60 non è sorprendente.

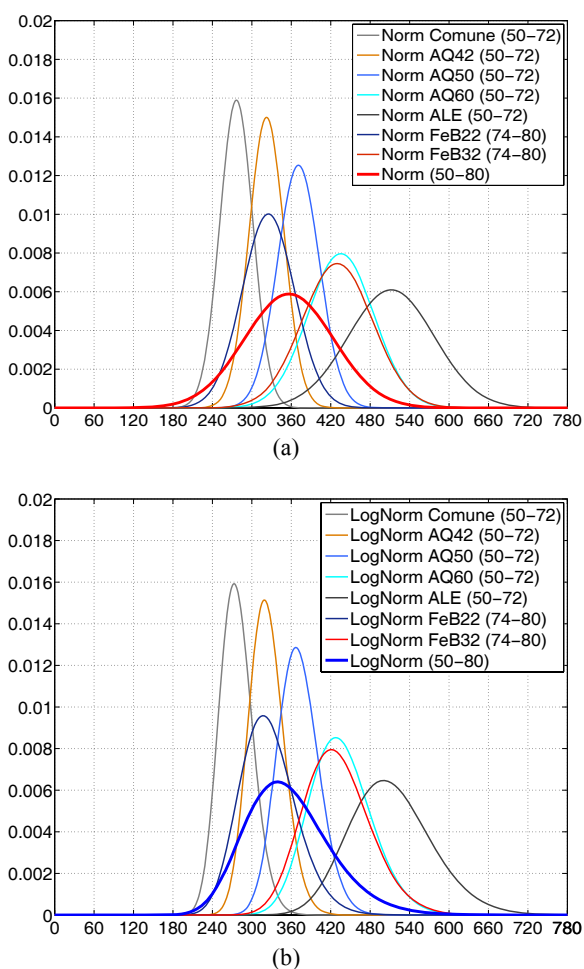


Figura 6. Distribuzione (a) Normale e (b) LogNormale della tensione di snervamento per le diverse categorie di acciaio

La stessa analisi eseguita per anno e categoria mostra un andamento pseudo costante, anno dopo anno, della tensione di snervamento all'interno della stessa categoria (Figura 7), tranne che per le categorie ad alta resistenza, ALE ed AQ60 le quali mostrano anche scarti maggiori, superiori a quelli mostrati da un'analisi indifferenziata per anno. Una diminuzione degli scarti si ha a partire dal 1960 ovvero si passa da una  $\sigma_{1950}=15.911$  ad una  $\sigma_{1960}=4.679$  per un ALE, e da una  $\sigma_{1950}=10.754$  ad una  $\sigma_{1960}=4.340$  per un AQ60. Tale diminuzione era attesa, in quanto è solo intorno al 1960 che si

regolarizzano i controlli sull'acciaio da c.a.. Quanto evidenziato sottolinea anche l'elevata percentuale, precedentemente osservata, di utilizzo delle categoria 'Comune' che tende a diminuire proprio a cavallo dei decenni '50 e '60.

Si osservi come la tensione di snervamento media calcolata sul campione annuo, indipendentemente dalla categoria di acciaio, risulti di poco superiore a quella tipica di un AQ42 fino al 1956, a metà tra un AQ42 ed un AQ50 tra il 58 ed il 60, per poi sovrapporsi all'andamento della tipologia AQ50 fino al 1972, anno in cui diviene predominante l'AQ60.

Come era da attendersi, data la percentuale di utilizzo dell'FeB32, tra il 1974 ed 1980 il valore medio della tensione di snervamento, di tale categoria tende a coincidere con quello totale. Inoltre, ancora una volta e in maniera netta, si evince come in termini di tensione di snervamento l'FeB22 abbia di fatto sostituito l'AQ42 mentre l'FeB32 l'acciaio AQ60. Questi presentano un valore medio leggermente crescente negli anni, ma affetto da una deviazione standard superiore alle restanti categorie.

Ciò è probabilmente dovuto al fatto che il passaggio da una modalità di classificazione all'altra, che nel presente studio viene fatta coincidere con il passaggio normativo, non sia in realtà così netto ma esiste un periodo di transizione, dal punto di vista della produzione industriale, in cui le due classificazioni coesistono.

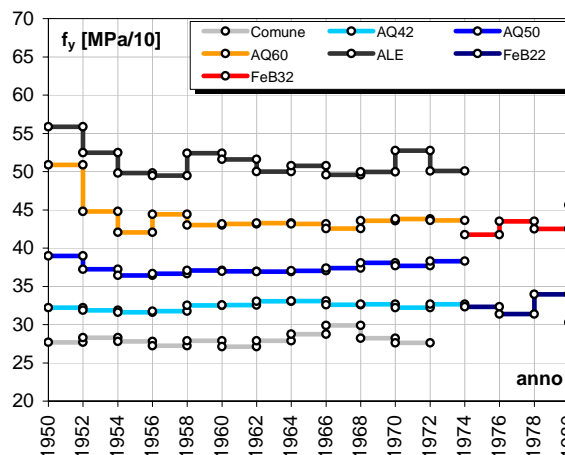


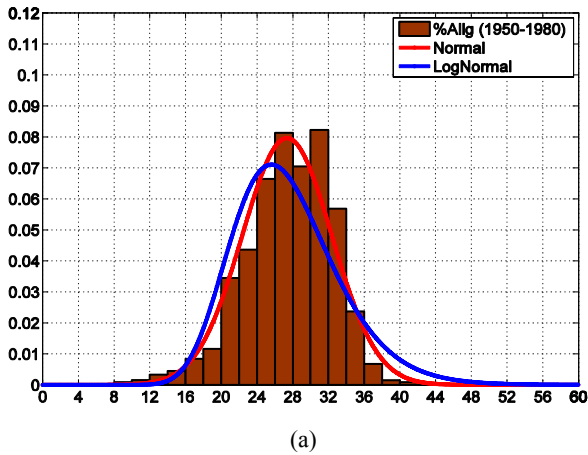
Figura 7. Andamento temporale (anno per anno) della tensione di media di snervamento per le diverse categorie di acciaio, espressa in  $\text{kgf/mm}^2$  ossia in  $\text{MPa}/10$

#### 4.2 Indagine sulla variabilità del rapporto d'incrudimento e della percentuale di allungamento

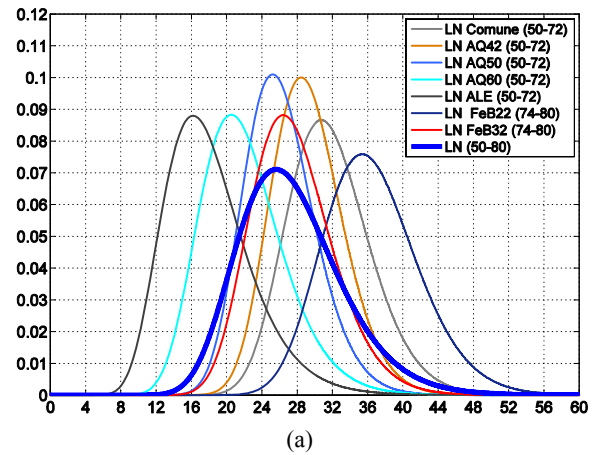
Analogamente a quanto fatto per la tensione di snervamento si analizza la funzione di densità di frequenza del rapporto d'incrudimento  $f_u/f_y$  (con  $\Delta x=0.05$ ), e della percentuale di allungamento  $All_g$  (con  $\Delta x=2$ ).

La Figura 8a mostra come il rapporto di incrudimento  $f_u/f_y$  compreso tra 1 e 2.5 presenti una deviazione standard molto bassa, nell'ordine di 0.1. Tale andamento è sostanzialmente ripreso sia nell'analisi indifferenziata per categoria anno per anno che nell'analisi per categoria sull'intero trentennio (Figura 9a), dove è evidente la sovrapposizione delle distribuzioni Normali e LogNormali, e come il valore medio si assesti intorno al valore 1.4-1.5. Si osservi che tale valore è fuori dal range richiesto dalle attuali normative.

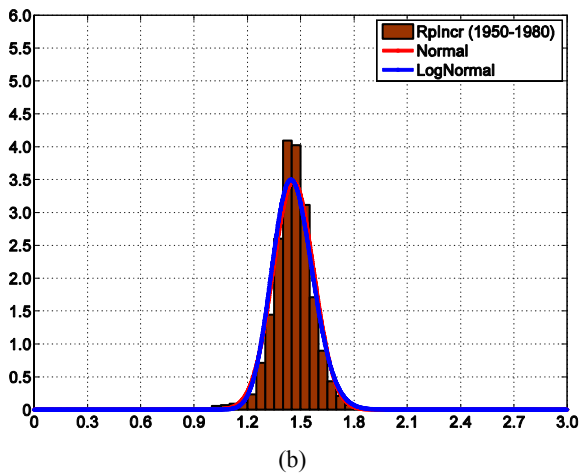
Dall'altro lato, la percentuale di allungamento (Figura 8b), invece, è caratterizzata da una deviazione standard superiore, ovvero da un'incertezza maggiore,  $\sigma_{media}=5.19$ , ed un valore medio poco superiore al 27%, che risulta quello tipico, ancora una volta, di un acciaio AQ50.



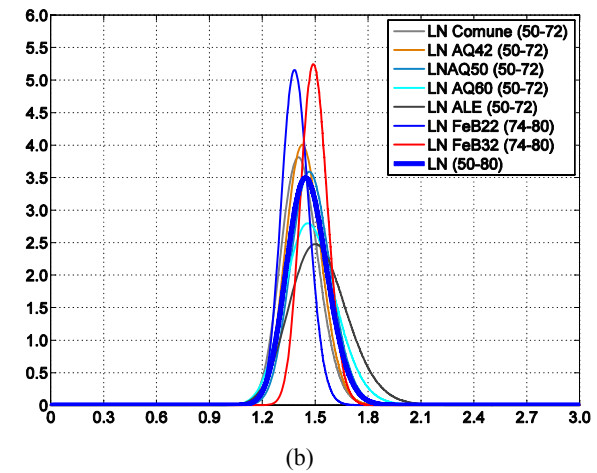
(a)



(a)



(b)



(b)

Figura 8. Diagramma di frequenza (a) dell'allungamento percentuale e (b) del rapporto di incrudimento relativo alla globalità del database degli acciai lisci sull'intero trentennio 1950-1980

Figura 9. Distribuzioni LogNormali (a) dell'allungamento percentuale e (b) del rapporto di incrudimento per le diverse categorie di acciaio

Anche in questo caso, quindi, può essere interessante osservare cosa accade eseguendo un'analisi per tipologia di acciaio, la quale mostra (Figura 9b), come era da attendersi, che all'aumentare della classe di resistenza tale valore tende a diminuire; infatti le curve tendono a spostarsi verso sinistra evidenziando come all'aumentare della resistenza diminuisce la duttilità. Nota la categoria di acciaio, quindi è possibile considerare un valore di percentuale di allungamento più consono, dal momento che passando da un Comune ad un ALE si passa da una percentuale di allungamento medio del 31.71% al 17.73%.

Le categorie FeB22 ed FeB32, presentano valori di percentuali di allungamento superiori testimoniate anche da un limite normativo, relativamente a tale parametro, superiore rispetto alla Circolare n.1472 del 23/05/1957. Non è più, quindi, possibile leggere la sovrapposizione con le categorie di acciaio relative al periodo 1950 -1972, in quanto gli acciai FeB22 ed FeB32 mostrano non solo una percentuale di allungamento superiore rispetto alle rispettive categorie che vanno a sostituire ma anche una deviazione standard minore.

Ciò sta ad indicare che sebbene in termini di resistenza di snervamento non si registrano sostanziali cambiamenti, queste tipologie si presentano molto più duttili. Tale aspetto è da imputarsi non solo ad un miglioramento fisico-chimico della produzione di acciaio, ma anche ad una maggiore coscienza normativa.

L'analisi più approfondita per categoria ed anno (Figura 10) evidenzia come in realtà il rapporto di incrudimento  $f_u/f_y$  medio presenti un andamento non costante nel tempo in maniera più marcata per le categorie "fuori norma" (COM, ALE), mentre in termini di percentuale di allungamento l'andamento appare più costante (Figura 11)

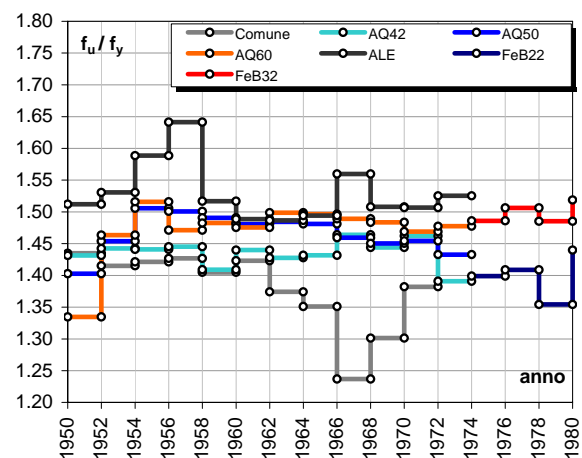


Figura 10. Andamento temporale (anno per anno) del rapporto di incrudimento per le diverse categorie di acciaio

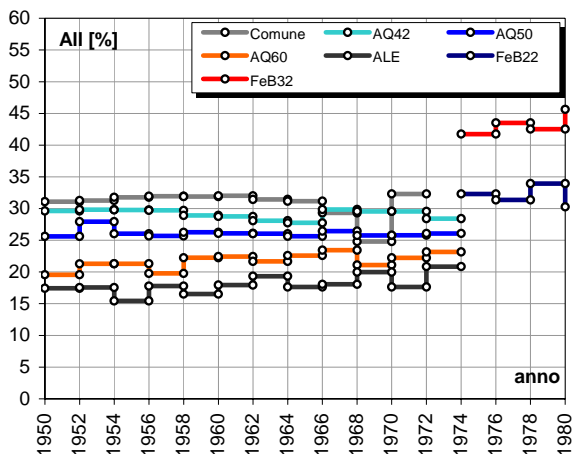


Figura 11. Andamento temporale (anno per anno) dell'allungamento percentuale per le diverse categorie di acciaio

## CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono presentati e discussi i risultati preliminari di una analisi statistica effettuata su un esteso database relativo alle principali caratteristiche meccaniche degli acciai da cemento armato impiegati tra il 1950 e il 1980, desunto dallo studio di migliaia di certificati di prova emessi dal laboratorio Prove del Dipartimento di Scienza delle Costruzioni (attuale DIST) della Facoltà di Ingegneria di Napoli.

Un primo risultato evidenzia un graduale decremento dell'utilizzo degli acciai lisci a favore delle attuali barre nervate. Infatti, se gli anni '50 e '60 fanno registrare un predominante utilizzo delle barre lisce, con percentuali del 98% e dell'80% rispettivamente, gli anni '70 sono caratterizzati da una controtendenza con un utilizzo delle barre nervate che mediamente fa registrare una percentuale di quasi il 60%.

Ciononostante si può in generale affermare che il trentennio in esame risulta caratterizzato dalla presenza di acciai lisci. La classificazione degli acciai è definita tra il 1950 e il 1974 dai cosiddetti acciai di qualità (ossia gli AQ) successivamente sostituiti, negli anni '70, dagli acciai FeB22K e FeB32K.

Tuttavia, la consuetudine consolidatasi nel tempo di utilizzare acciai non sempre rispettosi dei limiti normativi, riconducibile molto probabilmente alla necessità di dover ricostruire il nostro Paese negli anni del dopoguerra, conduce a considerare due ulteriori tipologie di acciai che sono stati definiti come acciaio *Comune* e acciaio ad alto limite elastico *ALE*.

L'acciaio AQ42 è senza dubbio la categoria più utilizzata negli anni '50 con una progressiva diminuzione a favore di acciai definiti da una maggiore resistenza (sia a rottura che a snervamento) quale l'acciaio AQ50 che, infatti, risulta predominare la seconda metà degli anni '60 e i primi anni '70. Gli acciai FeB22K e FeB32K sostituiscono definitivamente gli acciai di qualità; in particolare, essi evidenziano, mediamente, una tensione di snervamento rispettivamente simile agli acciai AQ42 e QA60.

Gli acciai lisci sono, in generale, caratterizzati da una elevata duttilità; infatti, in media, la percentuale di allungamento è pari a circa il 25%. Analogamente, il rapporto di incrudimento si attese su valori di circa 1.40-1.50 di gran lunga maggiori rispetto al range richiesto dalle attuali normative sismiche.

Per ciascuna delle tre caratteristiche meccaniche considerate sono state valutate le densità di frequenza

empiriche e le stime delle funzioni di densità di probabilità Normale e LogNormale. In particolare, in tal senso, sono state effettuate due diverse ipotesi: (i) stato di conoscenza quasi-nullo, ovvero nell'ipotesi di disporre la sola informazione di tipologia di acciaio, nello specifico di acciaio liscio; (ii) stato di conoscenza superiore, ovvero nell'ipotesi di disporre anche la categoria di acciaio utilizzata.

I risultati ottenuti dall'analisi statistica possono senza dubbio fornire un utile supporto alla fase di definizione delle caratteristiche meccaniche dei materiali, che assume un ruolo centrale nel processo di conoscenza, essenziale per la valutazione della capacità sismica del costruito esistente in cemento armato.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] R.D.L. 16 NOVEMBRE 1939 N°2228-2232 (Suppl. Ord. alla Gazz. Uff. del 18 aprile 1940 n°92) Norme per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato.
- [2] CIRCOLARE 23 MAGGIO 1957 N°1472, Armature delle strutture in cemento armato.
- [3] CIRCOLARE 25 SETTEMBRE 1948 N°2083, L'acciaio da impiegare nei cementi armati.
- [4] CIRCOLARE 8 GIUGNO 1953 N°1082, Acciaio per conglomerati cementizi armati.
- [5] CIRCOLARE 20 MAGGIO 1954 N°1433, Osservanza delle norme per le costruzioni in cemento armato.
- [6] CIRCOLARE DEL MINISTERO DEI LL.PP. 22/1171946 N.1735, Impiego d'acciaio ad alto limite elastico.
- [7] DECRETO MINISTERIALE 30/5/1972, Norme tecniche alle quali devono uniformarsi le costruzioni in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- [8] DECRETO MINISTERIALE 30/5/1974, Norme tecniche per la esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- [9] VERDERAME G.M., STELLA A., COSENZA E. (2001), Le proprietà meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in cemento armato realizzate negli anni '60, X Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Potenza e Matera 9-13 Settembre 2001.