

# Le proprietà meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in c.a. realizzate negli anni '60

G.M. Verderame, A. Stella, E. Cosenza

*Dipartimento di Analisi e Progettazione Strutturale, Università degli Studi di Napoli Federico II, Italy*

**SOMMARIO:** La valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti in cemento armato è un tema molto attuale ed è oggetto di continui approfondimenti.

L'approccio a tale problematica non può prescindere dalle specifiche caratteristiche dei materiali impiegati all'epoca della costruzione. Ciò richiede uno studio della variabilità meccanica dei materiali impiegati.

Nel presente lavoro l'attenzione è focalizzata sulle caratteristiche meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in cemento armato fino agli anni '60 e quindi presenti in una percentuale assai elevata di fabbricati esistenti. Sono presentati i risultati di analisi statistiche effettuate sulle caratteristiche meccaniche degli acciai.

**ABSTRACT:** Evaluation of seismic vulnerability of existing reinforced concrete structures is a very important issue in structural engineering that needs continuous updates.

The approach to the problem cannot neglect the specific performances of materials used in the past. This required the study of the variability of the material strength that affect the strength of reinforced concrete members.

In the present work, the attention is focused on the variability of the mechanical properties of the reinforcing bars used up to 60's, so that they are present in a large number of existing buildings. Result from statistical analysis of the mechanical properties of reinforcing bars are presented.

## 1 INTRODUZIONE

Le metodologie oggi disponibili per la valutazione della vulnerabilità sismica del costruito sono basate su un approccio probabilistico che consente di prevedere il danno atteso a seguito di un evento di assegnata intensità in funzione di una classificazione tipologica dei manufatti; le correlazioni tra vulnerabilità e danno sono espresse in funzione di matrici di probabilità di danno (DPM), ricavate dall'analisi statistica dei danni osservati in occasione del terremoto in Irpinia, nel caso degli edifici ordinari (Braga et al. 1982), o del terremoto Umbria-Marche, nel caso delle chiese (Lagomarsino e Podestà 1999).

Questo approccio rappresenta un utile strumento di analisi del rischio territoriale a grande scala, ma presenta evidenti limiti quando si opera a scala urbana in quanto per la pianificazione nel campo dei rischi e la definizione di strategie di prevenzione è necessaria un'informazione puntuale sul singolo manufatto, anche se approssimata; inoltre l'approccio con DPM considera solo una misura macrosismica dell'input e ciò non consente di tenere in conto gli effetti locali, fondamentali in un'area ristretta dove le tipologie costruttive sono in genere abbastanza omogenee.

Recentemente la ricerca nel settore della vulnerabilità del costruito esistente si è rivolta verso una visione più meccanica del problema orientata allo sviluppo di metodi semi-quantitativi. Nel

caso degli edifici in cemento armato le più recenti normative internazionali (ATC 1996, EBR 1996) suggeriscono l'applicazione del metodo di push-over per la stima della vulnerabilità sismica di edifici con potenziali sorgenti di danneggiamento sismico, quali piani soffici, colonne corte, nodi poco staffati e con ancoraggio insufficiente. Ovviamente tale approccio può essere applicato ad un numero ridotto di edifici per il suo onere computazionale e la quantità di informazioni di base necessarie. L'applicazione di tali metodi a comparti urbani estesi richiede la definizione di tipologie campione rappresentative di gruppi più numerosi di edifici e/o la messa a punto di metodi semplificati.

Un possibile approccio alla vulnerabilità di tipo semi-quantitativo su un comparto urbano parte dal censimento degli edifici esistenti, effettuandone una suddivisione in categorie secondo diversi livelli di dettaglio. Per ciascuna categoria si individuano le caratteristiche significative in relazione alla identificazione del comportamento strutturale, quali ad esempio: epoca di costruzione in funzione a regole comuni di costruzioni e normative di riferimento; materiali impiegati e qualità di realizzazione; caratteristiche degli elementi portanti che compongono la struttura (elementi verticali, orizzontali, solai, scale, controventi). Sulla base dei dati ottenuti si individuano in ciascuna categoria un certo numero di strutture di riferimento per ciascuna categoria. Le proprietà meccaniche dei materiali vanno attribuite a tali strutture campione, partendo da una statistica dei materiali corrispondenti agli intervalli di costruzione considerati. Ciascuna tipologia strutturale viene analizzata in dettaglio per individuare i parametri necessari a caratterizzarne il comportamento strutturale e la risposta agli eventi sismici. Tali parametri, opportunamente valutati statisticamente vengono poi attribuiti alla popolazione di edifici di cui l'edificio-campione è rappresentativo.

Lo studio che si presenta si inquadra nell'approccio semi-quantitativo alla valutazione della vulnerabilità degli edifici in cemento armato costruiti negli anni 60'. Infatti, unitamente al lavoro "gemello" sulla caratterizzazione dei calcestruzzi (Verderame et al., 2001), consente la simulazione statistica delle proprietà meccaniche degli elementi in cemento armato costruiti negli anni 60', periodo particolarmente importante perché contraddistingue gran parte dell'edificazione in Italia. Peraltro, come ben noto, le strutture di tale periodo presentano importanti problemi dal punto di vista sismico, in quanto progettate in assenza di normative sismiche in aree poi dichiarate sismiche o in carenza di norme sismiche adeguate.

### 1.1 Aspetti normativi

Nella trattazione dell'evoluzione normativa degli acciai utilizzati nella finestra temporale in esame, risulta fondamentale soffermarsi sul R.D.L. 16 novembre 1939 la cui importanza è da ricercarsi, soprattutto, nella sua longevità. Rimasto in vigore per oltre 30 anni viene, infatti, sostituito dal D.M. 30 maggio 1972 n°9161.

Il R.D.L. 16 novembre 1939 introduce una classificazione delle armature da utilizzarsi nei conglomerati armati e costituita in particolare, da acciaio dolce, semiduro o duro. Le tre tipologie di acciai si distinguono per le diverse caratteristiche meccaniche e per il differente carico di sicurezza da adottarsi nella progettazione, variabile tra i 1400 e 2000 kg/cm<sup>2</sup>; in particolare, il carico di sicurezza risulta dipendente non solo dalla tipologia di acciaio ma anche dalla resistenza del calcestruzzo e dalla forma della sezione trasversale dell'elemento strutturale.

Durante il periodo di vigenza del R.D.L. 16 novembre 1939 sono emanate diverse circolari rispondenti alle necessità del momento. Si ritiene di dover indicare, in particolar modo, la circolare del 25 settembre 1948 n°2083, 8 giugno 1953 n°1082 e quella 20 maggio 1954 n°1433. Tutte sottolineano la necessità di rispettare le indicazioni del R.D.L. su menzionato; il rigore nonché l'interesse del legislatore risulta giustificato dalla scarsa omogeneità degli acciai utilizzati nelle costruzioni dell'epoca.

Con riguardo all'intervallo temporale analizzato la Circolare 23 maggio 1957 n°1472 riveste un ruolo importante nell'uso degli acciai da cemento armato. Oltre, ad introdurre gli acciai di qualità, Aq.42, Aq.50e Aq.60 corrispondenti ai precedenti acciai dolce, semiduro e duro, introduce per la prima volta delle indicazioni sugli acciai *speciali* ad aderenza migliorata. Il successivo D.M. 30 maggio 1972 n°9161 stabilirà, in senso normativo, il passaggio definitivo dalle barre lisce sino ad allora utilizzate alle barre ad aderenza migliorata.

## 2 LE PROPRIETÀ MECCANICHE DEGLI ACCIAI

Al fine di definire le tipologie di acciai prodotti ed utilizzati nel decennio 1960-70 e le relative caratteristiche meccaniche, sono stati analizzati i dati delle prove a trazione eseguite presso il laboratorio del Dipartimento (ex Istituto) di Scienza delle Costruzioni della Facoltà d'Ingegneria di Napoli, nell'arco temporale suddetto.

Il campione studiato è da considerarsi rappresentativo dell'intera area campana e con qualche approssimazione di tutto il centro sud della penisola; difatti all'epoca gli ulteriori Laboratori Ufficiali dell'Italia meridionale erano quelli annessi alle cattedre di Scienza delle Costruzioni delle Facoltà d'Ingegneria di Roma e Palermo (allegato A al R.D.L. del 16 novembre 1939).

Tra i parametri rilevabili dalle schede delle prove, quelli condizionanti la caratterizzazione degli acciai sono i seguenti:

- diametro delle barre;
- tensione di snervamento;
- tensione di rottura;
- allungamento a rottura su dieci diametri.

L'intero campione, tranne alcuni casi sporadici, è caratterizzato da barre del tipo liscio.

Di seguito sono illustrate le caratteristiche meccaniche delle principali tipologie di acciai relative al solo anno 1960. Ulteriori valutazioni sono condotte sull'intero decennio 1960-70 per il solo acciaio denominato acciaio di qualità Aq.42

Si noti che per l'anno 1960 sono state registrate tutte le prove effettuate, mentre per gli anni successivi fino al 1970 è stato preso in esame solo un mese campione in quanto rappresentativo dell'intero anno.

Sono stati formulati grafici e tabelle riassuntive, contenenti informazioni sui valori medi dei parametri e sulle relative proprietà statistiche, al fine di facilitarne l'utilizzazione.

### 2.1 *Classificazione degli acciai*

La classificazione dei dati del laboratorio ha offerto non pochi problemi, poiché, solo raramente risultava desumibile il tipo di acciaio oggetto di prova. Tuttavia, tali difficoltà sono state superate adottando la classificazione suggerita dalla normativa vigente all'epoca ed in particolare il R.D.L. del 16 novembre 1939 n°2229 e la circolare del 23 maggio 1957 n°1472.

In particolare, il R.D.L. definisce, sulla base della tensione di snervamento, di rottura, e dell'allungamento a rottura, tre tipi di acciai denominati dolce, semiduro e duro, mentre la circolare ripropone la medesima classificazione assegnando le sigle Aq.42, Aq.50 e Aq.60, agli acciai di qualità caratterizzati rispettivamente da intervalli di resistenza a rottura di 42-50, 50-60, 60-70 kg/mm<sup>2</sup>, da tensione di snervamento non inferiore a 23, 27 e 31 kg/mm<sup>2</sup> ed infine da allungamenti a rottura valutata su 10 diametri non inferiori a 20%, 16% e 14%.

In aggiunta alle classi menzionate sono stati considerati altri due gruppi: acciai con resistenza a rottura superiore a 70 kg/mm<sup>2</sup>, denominati acciai ad alto limite elastico (A.L.E.) e acciai caratterizzati da una tensione di rottura inferiore a 42 kg/mm<sup>2</sup>, denominati comuni.

### 2.2 *Percentuale di utilizzo*

La conoscenza della distribuzione negli anni del tipo di acciaio utilizzato nelle costruzioni in cemento armato degli anni '60 offre una valida alternativa ai comuni test di laboratorio eseguiti direttamente su materiale derivante dalla costruzione in esame. Difatti, quest'ultimo approccio se da un lato risulta maggiormente affidabile per le sue caratteristiche intrinseche, tuttavia offre difficoltà di non facile soluzione.

Per ciascuno degli anni in esame è stato ricavato il numero di barre appartenenti alle diverse classi, acciaio comune, Aq.42, Aq.50, Aq.60 ed infine A.L.E.. I dati acquisiti sono rappresentati in Figura 1 riportante in ascissa il mese-anno in esame ed in ordinata la percentuale della classe rispetto al totale.

Dalla Figura 1 si rileva una progressiva variazione del tipo di acciaio utilizzato nelle costruzioni, tra il 1960-70. In particolare, l'acciaio comune è andato scomparendo quasi totalmente (dal 12,8% all'1,0%), per l'Aq.42 si registra una evidente diminuzione (dal 29,1% al 6,5%), l'Aq.50 è rimasto pressoché invariato sino al 1968 (dal 38,1% al 37,6%) registrando una leggera

diminuzione nel 1970 (26,5%) mentre l'acciaio del tipo Aq.60, (dal 11,1% al 33,0%) e l'acciaio ad A.L.E. (dall'8,8% al 33,0%) registrano un sostanziale aumento. In definitiva ciò testimonia il progressivo miglioramento dell'industria siderurgica nel comparto delle barre di armatura.

Per quel che riguarda i diametri maggiormente utilizzati in Figura 2 è riportato il diagramma delle frequenze relative dei diametri utilizzati nell'intero decennio: le barre maggiormente adoperate risultavano nell'ordine quelle da 12, 14 e 16 mm di diametro.

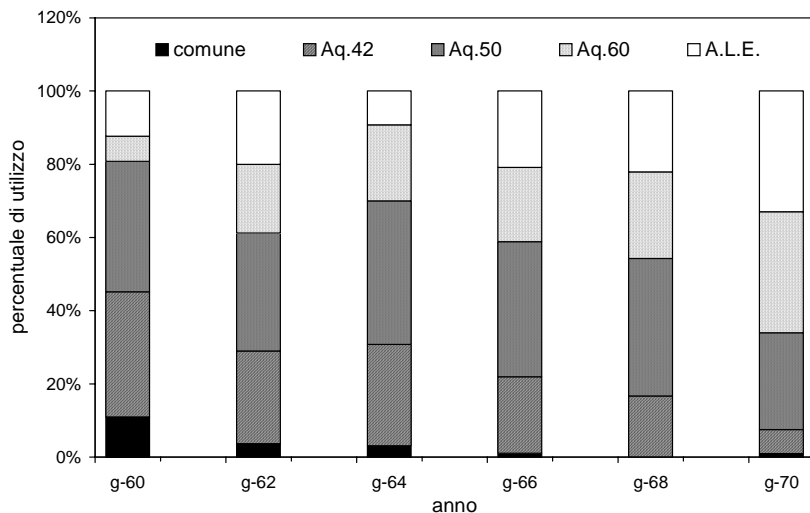


Figura 1. Percentuale di utilizzo

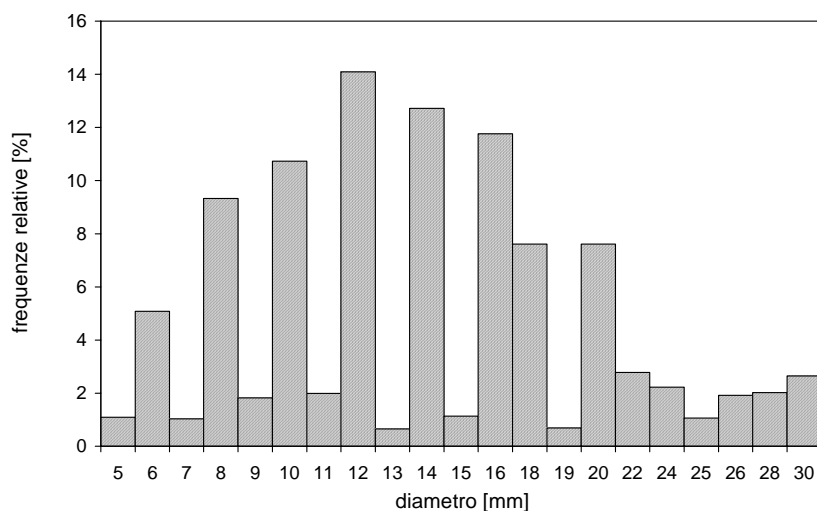


Figura 2. Frequenze relative: diametri utilizzati

### 3 ANALISI DEI DATI RELATIVI ALL'ANNO 1960

Per la caratterizzazione meccanica degli acciai si è proceduto alla suddivisione delle barre in base al loro diametro, al fine d'indagare la variabilità delle caratteristiche meccaniche, quali la tensione di snervamento, la tensione di rottura, il rapporto d'incrudimento e l'allungamento a rottura, in relazione a quest'ultimo parametro. In particolare, sono prese in considerazione le sole classi di acciaio menzionate dalla normativa dell'epoca: acciai Aq.42, Aq.50 ed infine Aq.60.

### 3.1 Analisi dei dati relativi agli acciai tipo Aq.42

Nel seguito sono analizzate e discusse le caratteristiche meccaniche degli acciai denominati Aq.42. La classificazione degli acciai è avvenuta in conformità alle disposizioni dell'epoca: sono, pertanto, definiti Aq.42 gli acciai caratterizzati dalle seguenti caratteristiche meccaniche:

- tensione di snervamento,  $f_y$  non inferiore a 230 N/mm<sup>2</sup>;
- tensione di rottura,  $f_u$  compresa tra 420 e 500 N/mm<sup>2</sup>;
- allungamento a rottura,  $A_{10\phi}$  non inferiore al 20%.

Per la caratterizzazione meccanica degli acciai si è proceduto alla suddivisione delle barre in base al loro diametro, al fine d'indagare la variabilità delle caratteristiche meccaniche, quali la tensione di snervamento, la tensione di rottura, il rapporto d'incrudimento e l'allungamento a rottura, in relazione a quest'ultimo parametro

I grafici di Figura 3, 4, 5 e 6, riportano, in ascissa il diametro delle barre ed in ordinata il rapporto tra la grandezze meccanica in esame e il relativo valor medio globale; in particolare nell'ordine tensione di snervamento, tensione di rottura, rapporto di incrudimento ed infine allungamento a rottura. Sono riportate, per ciascuna grandezza meccanica indagata, sia il valore medio sia l'equazione della retta interpolante al fine di definire la variabilità con il diametro.

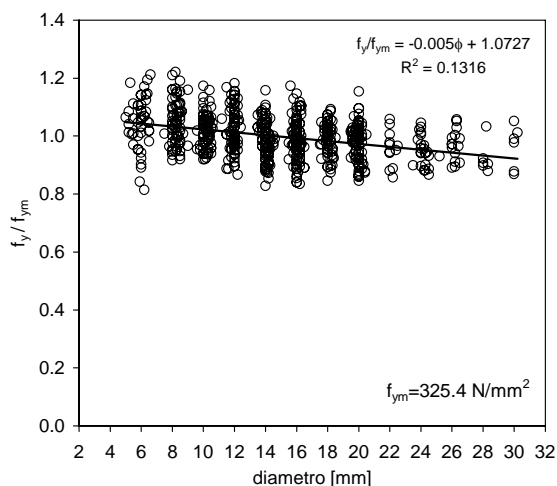


Figura 3. Tensione di snervamento: acciai Aq.42.

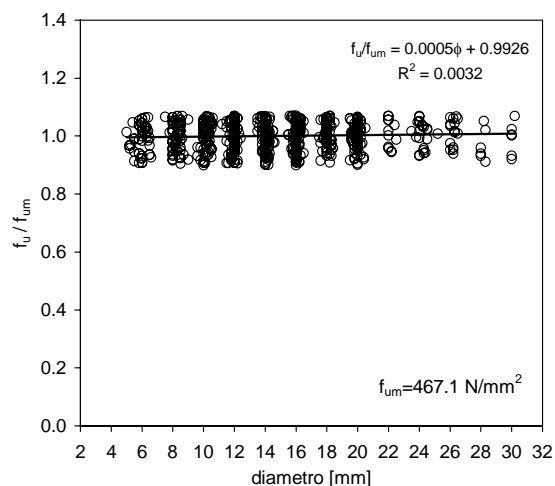


Figura 4. Tensione di rottura: acciai Aq.42.

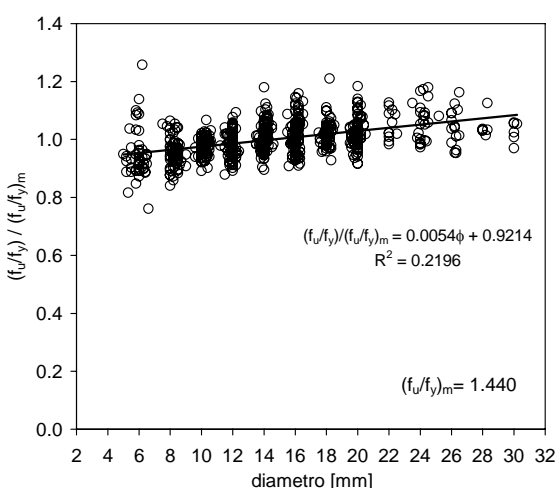


Figura 5. Rapporto d'incrudimento: acciai Aq.42.

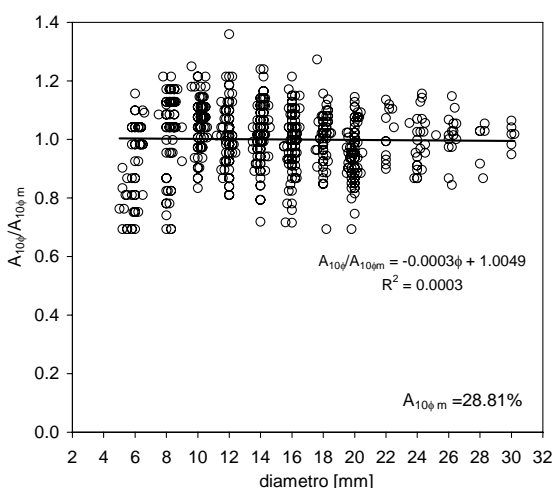


Figura 6. Allungamento a rottura su 10φ: acciai Aq.42.

Dai grafici si rileva che la tensione di rottura così come l'allungamento a rottura risultano pressoché invariati con il diametro, mentre la tensione di snervamento ha un andamento decrescente all'aumentare dello stesso. Di conseguenza, l'andamento del rapporto di incrudimento risulta crescente all'aumentare del diametro.

In particolare, dall'osservazione dei grafici si evince una elevata dispersione dei dati rispetto al proprio valor medio nel caso dell'allungamento a rottura mentre si registra una controtendenza nel caso della tensione di rottura.

Tale circostanza è senz'altro giustificata dalle modalità di classificazione degli acciai; difatti, le disposizioni normative definiscono per la sola tensione di rottura sia un valor minimo che un massimo mentre per le restanti grandezze è definito il solo limite inferiore. Ciò comporta che non è possibile avere resistenze dell'acciaio al di fuori del suddetto intervallo, con un taglio deterministico alla variabilità dei risultati che ha conseguenze anche sulla variabilità della tensione di snervamento.

Per comprendere il tipo di variabilità statistica dei risultati, in Figura 7 e 8 sono riportati i diagrammi delle frequenze relative della tensione di snervamento e dell'allungamento a rottura.

La distribuzione delle tensioni di snervamento osservate risulta non particolarmente distante dalla distribuzione gaussiana; ciò è confermato dal valore del coefficiente di curtosi pari a 3.015 che tra l'altro indica una distribuzione lievemente leptocurtica. Il coefficiente di asimmetria campionaria ottenuto, pari a 0.237, indica una distribuzione asimmetrica positiva. Peraltro è sicuramente possibile definire altre distribuzioni statistiche che meglio interpretano i risultati sperimentali.

Anche la distribuzione degli allungamenti a rottura osservate risulta non particolarmente distante dalla distribuzione gaussiana; ciò è confermato dal valore del coefficiente di curtosi pari a 3.365. Il coefficiente di asimmetria campionaria ottenuto, pari a -0.417, indica una distribuzione asimmetrica negativa.

Nella Tabella 1 sono riportati i principali indici di forma e di dispersione delle grandezze meccaniche esaminate.

In primo luogo si osserva l'ottima duttilità degli acciai, con valor medio del rapporto di incrudimento pari a 1.440 ed allungamento a rottura su 10 diametri pari al 28.81%.

Dal punto di vista statistico, si osserva la ridotta variabilità della tensione di rottura, caratterizzata da Coefficiente di Variazione (C.O.V.) inferiore a 0.05, dovuta sostanzialmente al metodo di classificazione, come già rilevato. Ciò ha conseguenze anche sulla tensione di snervamento, che possiede un C.O.V. dell'ordine di 0.07. Più variabile è l'allungamento a rottura misurato su 10 diametri, che è caratterizzato da un C.O.V. dell'ordine di 0.10.

In termini di distribuzioni statistiche, si osservi che la tensione di rottura, sempre a causa della metodologia di classificazione, è mal rappresentata dalla gaussiana. Si può rilevare che la distribuzione non è lontana da quella uniforme nell'intervallo di definizione dell'acciaio Aq.42, e quindi 420-500 N/mm<sup>2</sup>: con tale distribuzione la media sarebbe 460 N/mm<sup>2</sup> e lo scarto quadratico medio 23.1 N/mm<sup>2</sup>, contro valori osservati rispettivamente pari a 467 e 21.7 N/mm<sup>2</sup>.

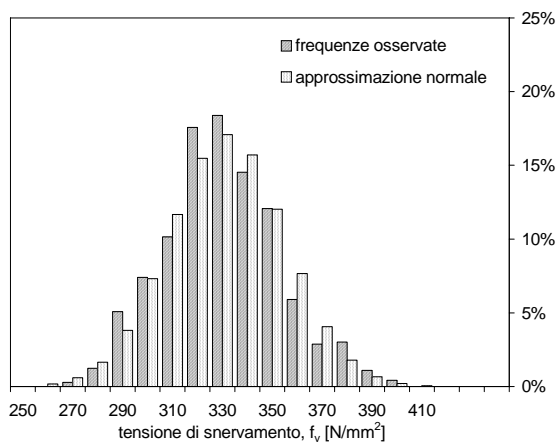


Figura 7. Frequenze relative: tensione di snervamento.

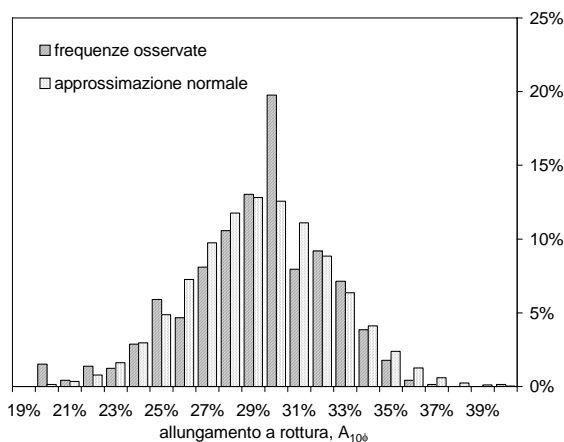


Figura 8. Frequenze relative: allungamento su 10 diametri.



Tabella 1. Caratteristiche degli acciai Aq.42.

numero prove: 729	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u/f_y$	$A_{10\phi}$
valore medio	325.4	467.1	1.440	28.81%
valore massimo	397.4	499.9	1.812	39.16%
valore minimo	265.0	420.1	1.096	20.00%
scarto quadratico medio	23.165	21.718	0.086	0.031
C. O. V.	0.071	0.047	0.060	0.107
indice di asimmetria	0.237	-0.342	0.311	-0.417
indice di curtosi	3.015	2.008	3.941	3.365

### 3.2 Analisi dei dati relativi agli acciai tipo Aq.50

Analogamente a quanto fatto per l'acciaio Aq.42, si analizzano e discutono le caratteristiche meccaniche degli acciai denominati Aq.50. Anche in questo caso la classificazione degli acciai è avvenuta in conformità alle disposizioni dell'epoca: sono, pertanto, definiti Aq.50 gli acciai caratterizzati dalle seguenti caratteristiche meccaniche:

- tensione di snervamento,  $f_y$  non inferiore a 270 N/mm<sup>2</sup>;
- tensione di rottura,  $f_u$  compresa tra 500 e 600 N/mm<sup>2</sup>;
- allungamento a rottura,  $A_{10\phi}$  non inferiore al 16%.

Dualmente a quanto fatto in precedenza, i grafici di Figura 9, 10, 11 e 12, riportano, in ascissa il diametro delle barre ed in ordinata il rapporto tra la grandezze meccanica in esame e il relativo valor medio globale; in particolare nell'ordine tensione di snervamento, tensione di rottura, rapporto di incrudimento ed infine allungamento a rottura. Sono riportate, per ciascuna grandezza meccanica indagata, sia il valore medio sia l'equazione della retta interpolante.

Dai grafici si conferma che la tensione di rottura così come l'allungamento a rottura risultano pressoché invariati con il diametro mentre la tensione di snervamento ha un andamento decrescente all'aumentare dello stesso.

In Figura 13 e 14 sono riportati i diagrammi delle frequenze relative della tensione di snervamento e dell'allungamento a rottura; nella Tabella 2 sono riportati i principali indici di forma e di dispersione delle grandezze meccaniche esaminate. Anche in questo caso si osserva l'ottima duttilità degli acciai, con valore dell'allungamento a rottura medio pari a 26.08% e rapporto di incrudimento medio paria a 1.479; peraltro si rileva la nota diminuzione di duttilità con la resistenza, dal confronto con gli analoghi valori dell'acciaio tipo Aq.42, in termini di allungamento a rottura; peraltro il rapporto di incrudimento varia poco, addirittura aumentando da 1.440 a 1.479.

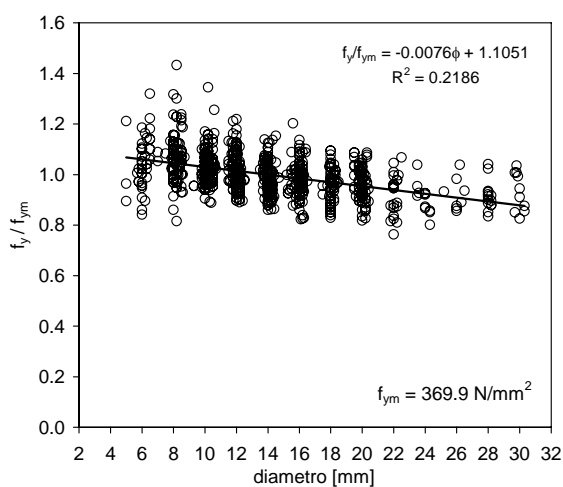


Figura 9. Tensione di snervamento: acciai Aq.50.

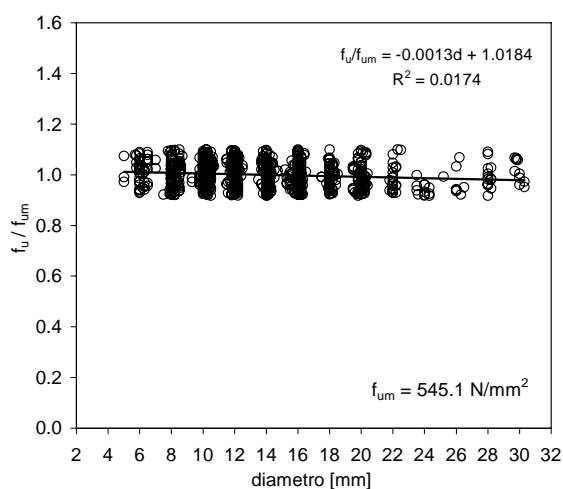


Figura 10. Tensione di rottura: acciai Aq.50.

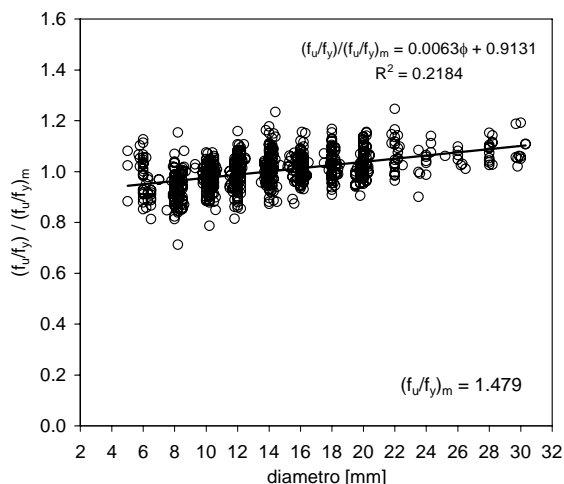


Figura 11. Rapporto d'incrudimento: acciai Aq.50.

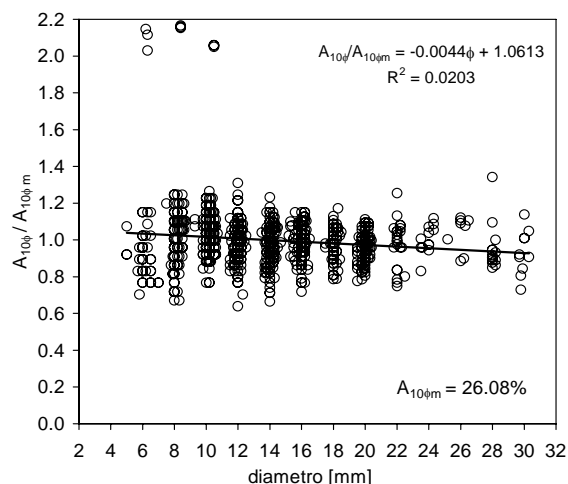


Figura 12. Allungamento a rottura su 10φ: acciai Aq.50.

Dal punto di vista della variabilità statistica, in questo caso si osserva che la distribuzione delle tensioni di snervamento osservate risulta particolarmente distante dalla distribuzione gaussiana; ciò è confermato dal valore del coefficiente di curtosi pari a 4.751 che tra l'altro indica una distribuzione leptocurtica. Il coefficiente di asimmetria campionaria ottenuto, pari a 0.573, indica una distribuzione asimmetrica positiva.

Anche in questo caso la distribuzione degli allungamenti a rottura osservati risulta particolarmente distante dalla distribuzione gaussiana; ciò è confermato dal valore del coefficiente di curtosi pari a 27.288. Il coefficiente di asimmetria campionaria ottenuto, pari a 3.449, indica una distribuzione asimmetrica positiva. La stima dei parametri in base alla distribuzione uniforme avrebbe portato in questo caso ad una media di 550 N/mm<sup>2</sup> ed uno scarto di 28.7 N/mm<sup>2</sup>, contro i valori osservati pari a 545 e 26.8 N/mm<sup>2</sup>, con buona approssimazione.

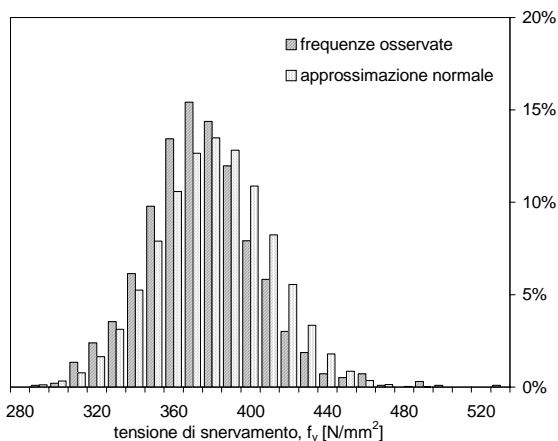


Figura 13. Frequenze relative: tensione di snervamento

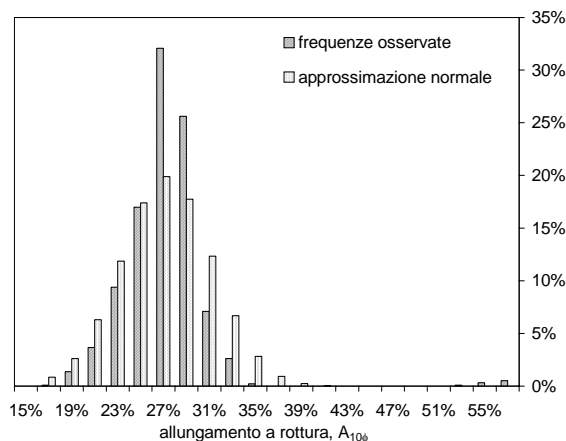


Figura 14. Frequenze relative: allungamento su 10 diametri

Tabella 2. Caratteristiche degli acciai Aq.50.

numero prove: 959	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u/f_y$	$A_{10φ}$
valore medio	369.9	545.1	1.479	26.08%
valore massimo	530.0	599.6	1.845	56.48%
valore minimo	282.4	500.1	1.054	16.67%
scarto quadratico medio	29.449	26.854	0.097	0.040
C. O. V.	0.080	0.049	0.066	0.152
indice di asimmetria	0.573	0.159	0.043	3.449
indice di curtosi	4.751	2.002	3.640	27.288



### 3.3 Analisi dei dati relativi agli acciai tipo Aq.60

Analogamente a quanto fatto per gli acciai Aq.42 e Aq.50, si riportano i risultati dell'analisi statistica relativa alle caratteristiche meccaniche degli acciai denominati Aq.60. La classificazione degli acciai è avvenuta in conformità alle disposizioni dell'epoca: sono, pertanto, definiti Aq.60 gli acciai caratterizzati dalle seguenti caratteristiche meccaniche:

- tensione di snervamento,  $f_y$  non inferiore a  $310 \text{ N/mm}^2$ ;
- tensione di rottura,  $f_u$  compresa tra  $600$  e  $700 \text{ N/mm}^2$ ;
- allungamento a rottura,  $A_{10\phi}$  non inferiore al 14%.

Analogamente a quanto fatto in precedenza, nei grafici di Figura 15, 16, 17 e 18 riportano, in ascissa il diametro delle barre ed in ordinata il rapporto tra le grandezze meccaniche in esame e il relativo valor medio globale; in particolare nell'ordine tensione di snervamento, tensione di rottura, rapporto di incrudimento ed infine allungamento a rottura.

In Figura 19 e 20 sono riportati i diagrammi delle frequenze relative della tensione di snervamento e dell'allungamento a rottura. Nella Tabella 3 sono riportati i principali indici di forma e di dispersione delle grandezze meccaniche esaminate.

In primo luogo si conferma la buona duttilità degli acciai, con rapporto di incrudimento medio pari a 1.473 ed allungamento a rottura su 10 diametri paria a 22.46. Si conferma peraltro la diminuzione di duttilità con l'aumentare della resistenza degli acciai.

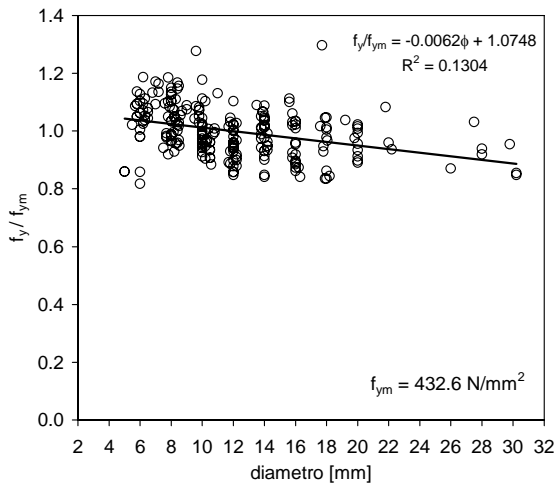


Figura 15. Tensione di snervamento: acciaio Aq.60.

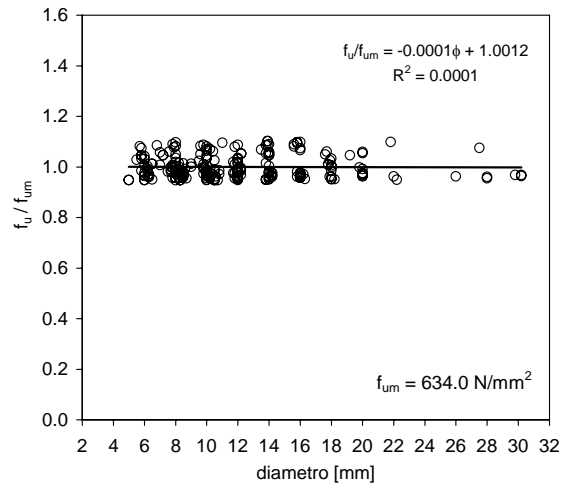


Figura 16. Tensione di rottura: acciaio Aq.50.

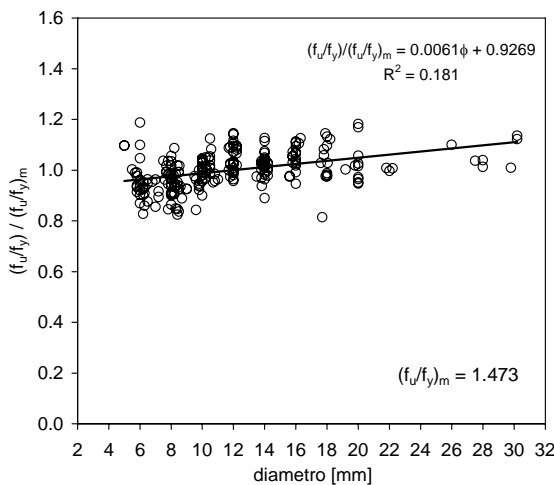


Figura 17. Rapporto d'incrudimento: acciaio Aq.50.

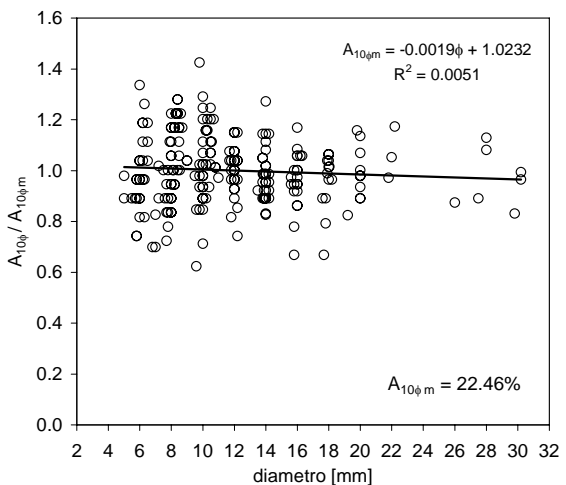


Figura 18. Allungamento a rottura su  $10\phi$ : acciaio Aq.50.

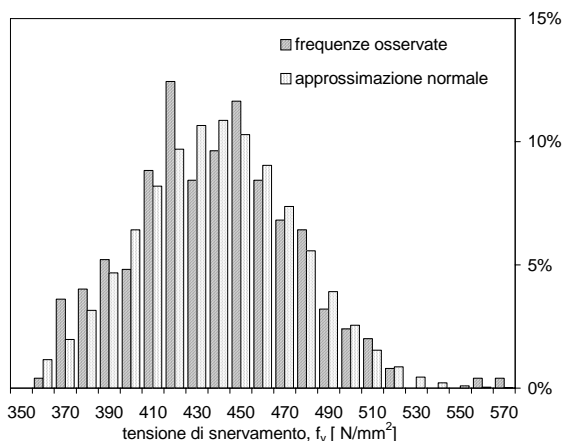


Figura 19. Frequenze relative: tensione di snervamento

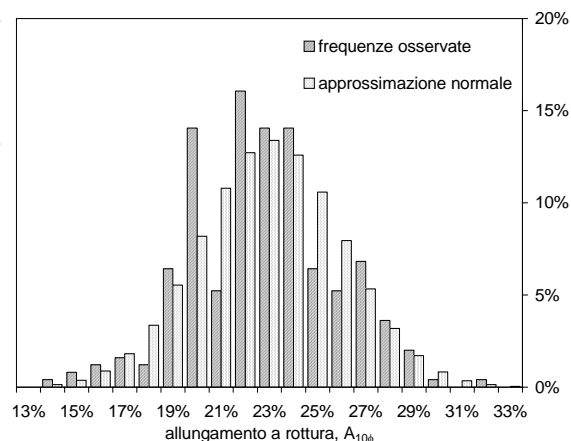


Figura 20. Frequenze relative: allungamento su 10 diametri

Tabella 3. Caratteristiche degli acciai Aq.60.

numero prove: 248	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u/f_y$	$A_{10\phi}$
valore medio	432.6	634.0	1.473	22.46%
valore massimo	560.8	698.5	1.750	32.00%
valore minimo	353.7.4	600.5	1.199	14.00%
scarto quadratico medio	36.588	28.691	0.103	0.030
C. O. V.	0.085	0.045	0.070	0.132
indice di asimmetria	0.272	0.801	-0.044	0.094
indice di curtosi	3.135	2.382	3.105	3.215

Dal punto di vista statistico, si osserva che in questo caso la distribuzione delle tensioni di snervamento osservate risulta non particolarmente distante dalla distribuzione gaussiana; ciò è confermato dal valore del coefficiente di curtosi pari a 3.135; il coefficiente di asimmetria campionaria ottenuto, pari a 0.272, indica una distribuzione leggermente asimmetrica positiva. Per quanto riguarda la distribuzione degli allungamenti a rottura valgono le osservazioni già fatte in precedenza per gli altri tipi di acciai.

#### 4 CARATTERIZZAZIONE DELL'ACCIAIO AQ.42 NEL DECENNIO 1960-70

Al fine di generalizzare i risultati ottenuti per l'anno 1960, è stata effettuata la caratterizzazione degli acciai tipo Aq.42 utilizzati nell'intero decennio 1960-70. La procedura per la valutazione delle caratteristiche meccaniche degli acciai utilizzati nell'arco temporale in esame 1960-70, si è distinta in due fasi: la definizione di un mese dell'anno 1960 che potesse ritenersi rappresentativo dell'intero anno effettuata mediante una analisi statistica di ciascun mese, e successivamente l'adozione del suddetto mese quale mese rappresentativo degli anni compresi nell'arco temporale in esame. Ciò in perfetta analogia con quanto fatto per il calcestruzzo (Verdame et al. 2001)

La definizione di un mese rappresentativo dell'intero anno 1960 è effettuata mediante un'analisi statistica di ciascun mese dell'anno; per ciascun mese sono valutati le principali grandezze meccaniche degli acciai e confrontati con gli stessi relativi all'intero anno; in particolare, per ciascun parametro, è valutato uno scostamento assoluto percentuale. Il mese dell'anno 1960 che presenta il minore scostamento totale risulta essere il mese di giugno.

Pertanto, le grandezze da adottarsi nell'analisi statistica del decennio 1961-70, sono ottenute dalle schede relative a tutti i mesi di giugno degli anni appartenenti all'arco temporale su menzionato.

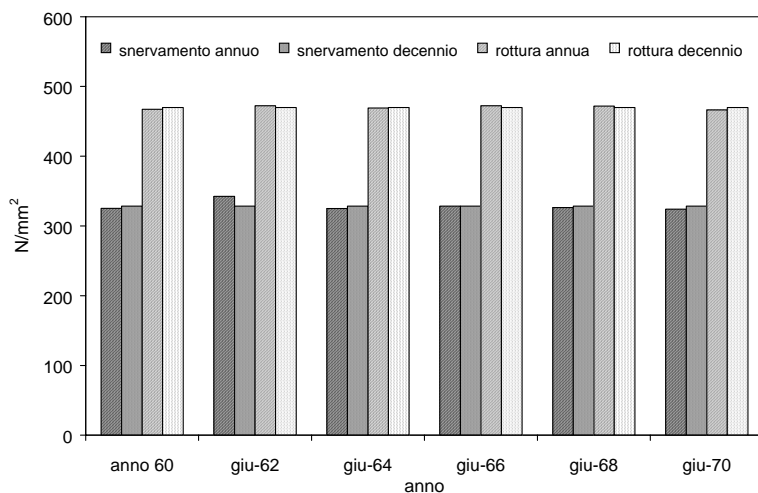


Figura 24. Confronto fra resistenza media annuale e del decennio: tensione di snervamento e di rottura.

Tabella 4. Caratteristiche degli acciai Aq.42 nel decennio 1961/70.

numero prove: 232	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u/f_y$	$A_{10\phi}$
valore medio	328.6	470.0	1.436	29.07%
valore massimo	408.0	499.8	1.696	35.62%
valore minimo	260.0	422.0	1.158	20.00%
scarto quadratico medio	26.100	18.800	0.088	0.032
C. O. V.	0.079	0.040	0.061	0.111
indice di asimmetria	0.226	-0.453	0.088	-0.707
indice di curtosi	2.968	2.347	3.256	3.131

In totale, sono state esaminate 232 pratiche dalle quali sono stati scelti quali parametri geometrici, il diametro delle barre mentre quali parametri meccanici la tensione di snervamento, la tensione di rottura e l'allungamento a rottura; in particolare sono stati analizzati solo gli anni 1960-62-64-66-68 e 1970.

L'analisi statistica operata, conferma l'ordine di grandezza dei principali parametri valutati dall'indagine dell'intero anno 1960; le proprietà indagate, sono praticamente congelate nel decennio.

Entrando maggiormente in dettaglio, con riferimento alla tensione di snervamento e di rottura, non si registra nessuna particolare monotonia dell'andamento lungo il decennio esaminato, il valore medio dello snervamento relativo a tutto il decennio è pari a 328.6 N/mm<sup>2</sup> di poco superiore a 325.4 N/mm<sup>2</sup> registrato per il solo anno 1960, mentre il valore medio della tensione di rottura relativo a tutto il decennio risulta pari a 470.0 N/mm<sup>2</sup> di poco superiore a 467.1 N/mm<sup>2</sup> registrato per il solo anno 1960 come si evince dalla Figura 22. Di conseguenza il rapporto di incrudimento rimane sostanzialmente immutato nel decennio. Nella Tabella 4 sono riportati i principali indici di forma e di dispersione delle grandezze meccaniche degli acciai Aq.42 relative al decennio 1961-70; la costanza dei risultati è sostanzialmente garantita anche in termini di Coefficiente di Variazione.

## 5 CONCLUSIONI

Nel presente lavoro si è effettuata un'accurata analisi dei dati esistenti nel decennio 1960-1970 in relazione alla caratterizzazione meccanica degli acciai da cemento armato nel meridione d'Italia.

Lo studio ha mostrato che negli anni si è assistito ad un aumento delle caratteristiche di resistenza degli acciai effettivamente utilizzati, con una progressiva diminuzione di utilizzo degli acciai tipo Aq.42 ed un progressivo aumento degli acciai tipo Aq.60. Dal punto di vista mecca-

nico le tipologie di acciai sono invece rimaste sostanzialmente invariate, tanto che ci si può riferire al dettagliato studio effettuato per l'anno 1960.

Lo studio ha evidenziato la buona duttilità degli acciai Aq.42, Aq.50 e Aq.60, con rapporto di incrudimento medio sostanzialmente poco variabile nell'intervallo 1.44-1.48, ed allungamento a rottura medio, misurato su 10 diametri, pari rispettivamente a 28.81%, 26.08% e 22.46%. Tali valori peraltro confermano la nota diminuzione della duttilità con l'aumentare della resistenza.

Dal punto di vista statistico si è mostrato che non sempre la distribuzione gaussiana è in grado di cogliere la variabilità del problema; ciò in particolare è vero per la tensione di rottura, in gran parte per le modalità di campionamento. Ulteriori studi potranno indagare meglio su questo aspetto.

In definitiva lo studio che si presenta, unitamente al lavoro "gemello" sulla caratterizzazione del calcestruzzo (Verderame et al., 2001), consente la simulazione statistica delle proprietà meccaniche degli elementi in cemento armato costruiti nel decennio, particolarmente importante perché contraddistingue gran parte dell'edificazione in Italia. Peraltro, come ben noto, le strutture di tale periodo presentano importanti problemi dal punto di vista sismico, in quanto progettate in assenza di normative sismiche in aree poi dichiarate sismiche o in carenza di norme sismiche adeguate.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i Responsabili del Laboratorio Ufficiale Prove del Dipartimento di Scienza delle Costruzioni dell'Università di Napoli Federico II per aver reso disponibili i dati dell'archivio prove analizzato nel presente studio.

## 6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ATC 40, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Applied Tecnology Council, 1996
- Braga, F., Dolce, M. & Liberatore, D. 1982. *A statistical study on damaged builidings and ensuing review of MSK-76 Scale*, Proceeding of the 7<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engineering, vol. 7, Atene, settembre 1982, pp. 431-450.
- Circolare 23 maggio 1957 n°1472, *Armature delle strutture in cemento armato*.
- Circolare 25 settembre 1948 n°2083, *L'acciaio da impiegare nei cementi armati*.
- Circolare 8 giugno 1953 n°1082, *Acciaio per conglomerati cementizi armati*.
- Circolare 20 maggio 1954 n°1433, *Osservanza delle norme per le costruzioni in cemento armato*.
- ERB (1996), *The Assessment and Improvement of the Structural Performance of Earthquake Risk Buildings, Draft for General Release*, for the Building Industry Authority, New Zealand National Society for Earthquake Engineering.
- Lagomarsino, S. & Podestà, S. 1999. *Metodologie per l'analisi di vulnerabilità delle chiese*, Atti del 9° Convegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia, Torino, 20-23 settembre 1999.
- Mirza, S. A., MacGregor, J.G., *Variability of Mechanical Properties of Reinforced Bars*, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 105, ST5, 1979.
- R.D.L. 16 novembre 1939 n°2229 (Suppl. Ord. alla Gazz. Uff. del 18 aprile 1940 n°92), *Norme per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato*.
- Santarella L 1962. *Prontuario del cemento armato* (XXV edizione). Milano: Ulrico Hoepli.
- Stella, A. 1999. *L'influenza della qualità dell'acciaio sulla risposta sismica di telai in c.a. progettati per carichi verticali*. Tesi di Laurea.
- Verderame, G.M., Manfredi, G., Frunzio, G., *Le proprietà meccaniche dei calcestruzzi 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.