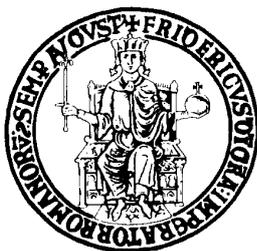


UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



*FACOLTA' DI INGEGNERIA*

*CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO*

Classe delle lauree in Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

ANNO ACCADEMICO 2017/18

***Tesi di laurea in Tecnica delle Costruzioni:  
ANALISI PARAMETRICA DELLA DUTTILITA' IN  
CURVATURA DI SEZIONI IN C.A.***

***Relatori***

Ch.mo Prof. Andrea Prota

Ch.mo Prof. Paolo Ricci

***Candidato***

Christian Buono

Matr. N49/525

## ABSTRACT

L'argomento trattato nell'elaborato di tesi riguarda la duttilità delle sezioni inflesse e pressoinflesse in cemento armato. La duttilità delle strutture è una caratteristica di grande rilevanza rispetto ad azioni eccezionali, quali quelle sismiche. Infatti, la sopravvivenza delle strutture in cemento armato sottoposte ad azioni eccezionali non può essere affidata alla sola resistenza, per problemi di costi economici; si deve invece prevedere la fuoriuscita della struttura dal campo elastico, con deformazioni plastiche anche rilevanti, senza tuttavia che essa pervenga al collasso. E' necessario pertanto che le strutture presentino un'adeguata *duttilità*.

E' dal 2003 che in Italia è stata affiancata alla progettazione per resistenze quella per duttilità. Prima di allora il progettista concepiva la struttura antisismica sulla base della sola *resistenza*, intesa come la capacità di resistere alle sollecitazioni di progetto. Ma la progettazione strutturale necessita di un approccio che superi il concetto di resistenza, garantendo alla struttura di dissipare plasticamente l'energia assorbita.

In questo lavoro, sarà presa in esame la sezione di un generico pilastro e ne verrà calcolata la duttilità in curvatura al variare di una serie di parametri geometrici e meccanici, rispettando naturalmente le prescrizioni normative. Sarà pertanto eseguita un'analisi parametrica. Verranno infatti fissati la base e l'altezza della sezione, il quantitativo di armatura presente (sia considerando l'armatura longitudinale che quella trasversale), la dimensione delle barre d'armatura.

Per la presenza delle staffe, si terrà opportunamente conto dell'effetto confinamento: un effetto benefico ai fini deformativi, in quanto consente di raggiungere delle deformazioni maggiori ( $\epsilon_{ccu}$ ).

L'obiettivo posto è di andare a valutare, proprio con un'analisi parametrica, come varia la duttilità della sezione in curvatura al variare delle grandezze introdotte. Si procede pertanto al calcolo del rapporto tra la curvatura ultima, cioè quella a cui corrisponde la crisi, e la curvatura allo snervamento. Il valore adimensionale che in questo modo si ottiene rappresenta la duttilità che la sezione presenta in curvatura, cioè la capacità che la sezione presenta nel deformarsi flessionalmente in campo plastico.

I dati di input, naturalmente, devono variare in un range che le NTC2018 prescrivono, per quanto concerne le limitazioni geometriche, riguardanti, ad esempio, le dimensioni della sezione trasversale, le limitazioni di armatura longitudinale e trasversale e le limitazioni di sforzo assiale, in funzione della Classe di Duttilità (“A” o “B”).

Le curvature ultima e allo snervamento sono calcolate rispettivamente come:

$$\left(\frac{1}{r}\right)_u = \frac{\varepsilon_{ccu}}{x_u} \text{ con } \frac{x_u}{h} = 1,25v \frac{b}{b_0}$$

e

$$\left(\frac{1}{r}\right)_y = \frac{2\varepsilon_{sy}}{h - 2c}$$

La duttilità in curvatura può essere valutata con la seguente espressione:

$$\mu_{\frac{1}{r}}^c = \frac{\left(\frac{1}{r}\right)_u}{\left(\frac{1}{r}\right)_y}$$

Bisogna inoltre tener presente degli effetti del confinamento sulla deformazione ultima, attraverso la seguente formulazione, generalmente cautelativa:

$$\varepsilon_{ccu} = 0,0035 + 0,1\alpha_h\alpha_v \cdot \omega_{st}$$

$\omega_{st}$  rappresenta la percentuale meccanica volumetrica di acciaio confinante, mentre i fattori  $\alpha_h$  e  $\alpha_v$  rappresentano rispettivamente l’efficienza del confinamento nel piano orizzontale e verticale.

L’analisi parametrica è stata condotta assumendo la seguente variabilità dei principali parametri in gioco:

	<b>B</b>	<b>H</b>	<b>CD</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b>v</b>
	<b>[mm]</b>	<b>[mm]</b>	<b>[-]</b>	<b>[-]</b>	<b>[-]</b>
<b>Minimo</b>	250	250	1	0,01	0,1
<b>Massimo</b>	500	600	2	0,03	0,65
<b>Passo</b>	50	50	1	0,01	0,05

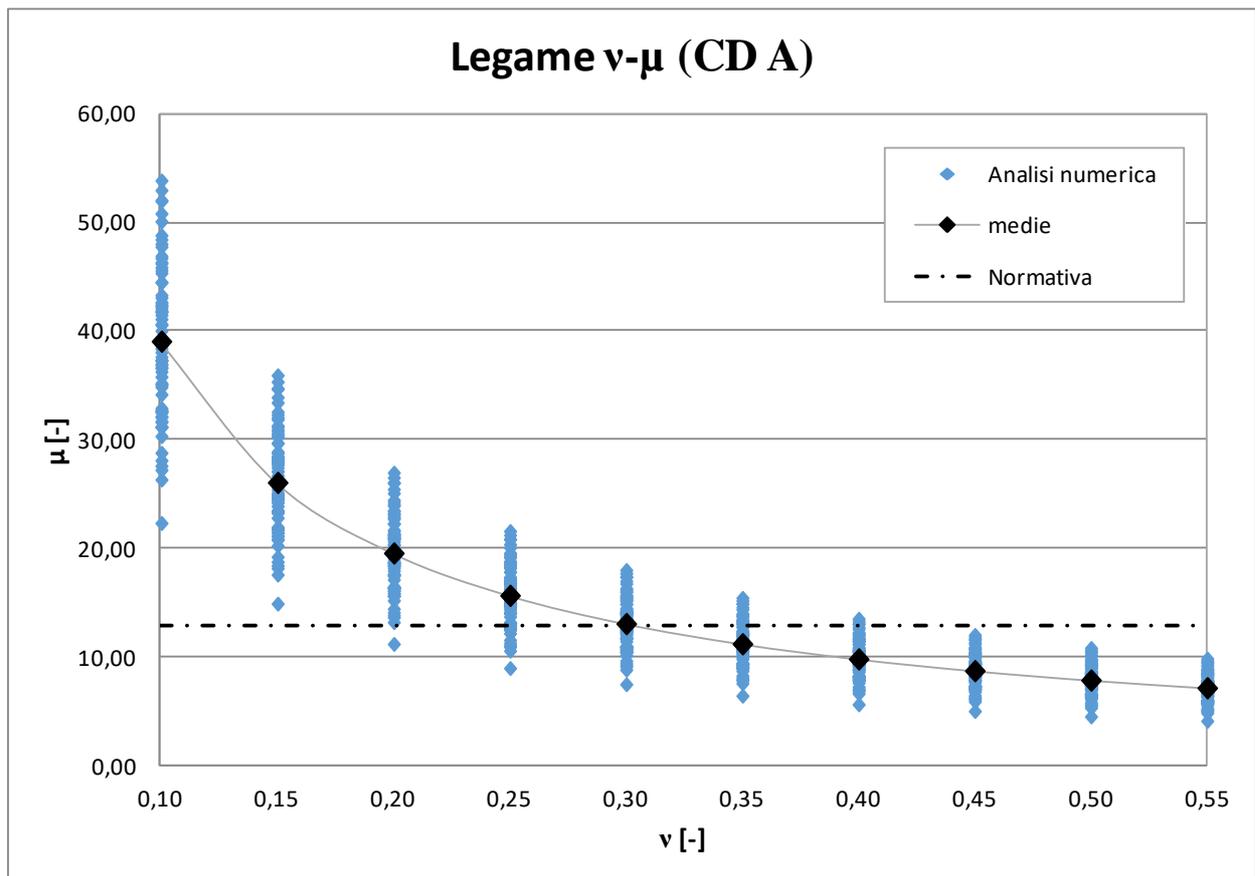
con

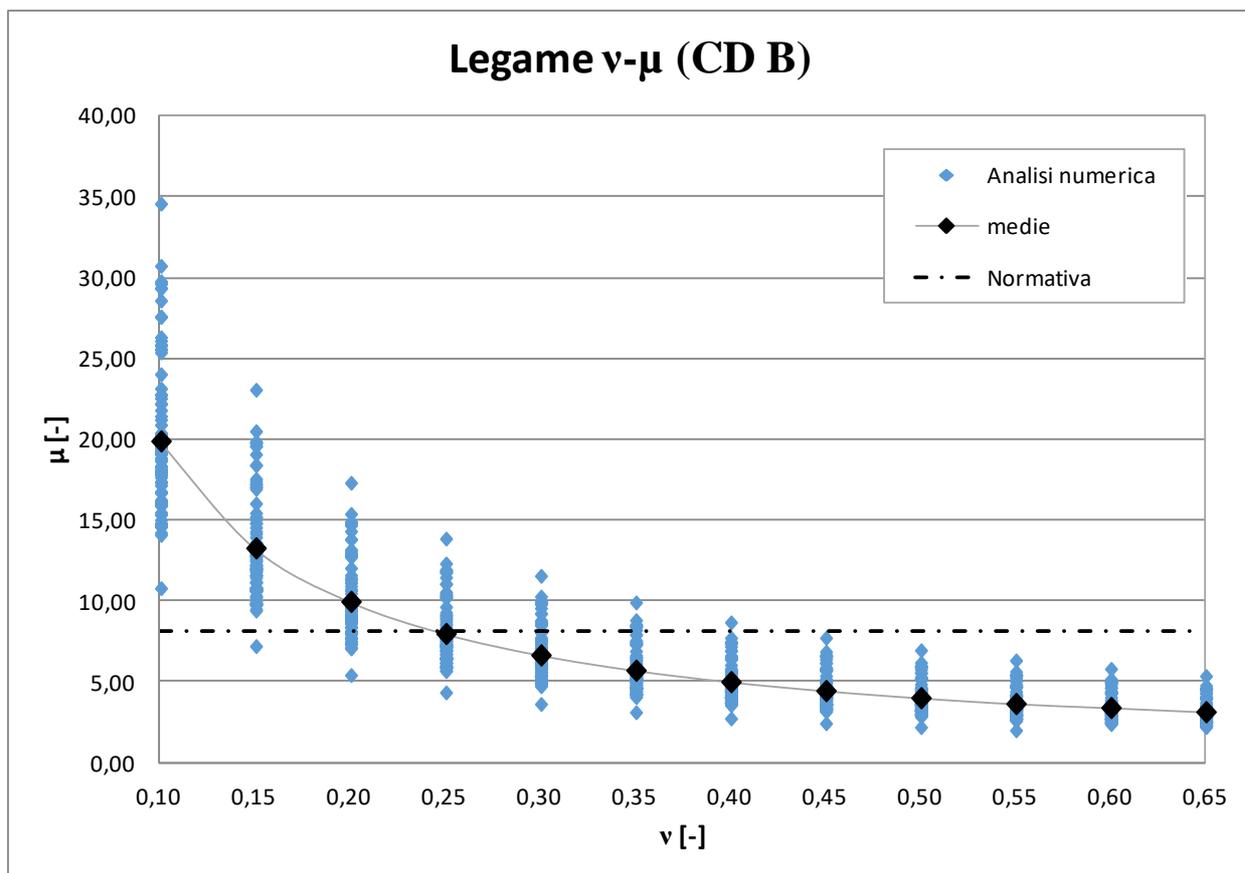
- B: base della sezione

- H: altezza della sezione
- CD: classe di duttilità. Per facilitare l'implementazione dei dati, si è scelto di indicare CDA con 1 e CDB con 2.
- $\rho$ : percentuale geometrica di armatura longitudinale
- $v$ : sforzo normale adimensionalizzato

Si riportano di seguito i valori di duttilità al variare dello sforzo normale adimensionalizzato  $v$ , sia per classe di duttilità alta che per classe di duttilità bassa.

Si osserva come, in entrambe le classi di duttilità, all'aumentare di  $v$ , si riduce  $\mu$ , come chiaramente atteso. Analogamente, nel passare dalla classe di duttilità alta alla classe di duttilità bassa, si sono ottenuti dei valori di duttilità mediamente più bassi, dovuti a prescrizioni meno stringenti.





E' interessante osservare come la duttilità stimata dalla normativa sia per alcuni valori superiore a quella in uscita dal nostro database. In particolare, questo si verifica per valori di  $v$  maggiori di 0,30 in CD A e per valori maggiori di 0,25 in CD B.

E' inoltre interessante analizzare lo specifico effetto che si osserva nel passaggio da una classe di duttilità ad un'altra, che deriva da prescrizioni normative più stringenti. Questa analisi viene condotta isolando tutte le coppie di sezioni "gemelle", cioè sezioni in cui l'unica differenza è la classe di duttilità. E' stato così valutato il rapporto tra le due duttilità capaci  $R$ , che rappresenta un ulteriore parametro che può essere analizzato. In termini medi globali, si osserva che è circa pari a 2. Pertanto il passaggio da CD B a CD A porta ad un raddoppio della duttilità disponibile, a fronte di un incremento della duttilità stimata dalla normativa che, stante l'assunzione  $T_I/T_C = 1$  (telaio multipiano multicampata, che rappresenta la struttura più diffusa), è pari a 1,57. Questo vuol dire che la CD A è più cautelativa.

E' importante evidenziare che il lavoro di ricerca portato avanti e le relative formulazioni si basano su due ipotesi semplificative:

1. sia l'armatura superiore che l'armatura inferiore si considerano snervate

2. si trascurano gli effetti dovuti alla presenza dell'armatura di parete

Si può dimostrare che, a meno dell'armatura di parete, l'intervallo di valori di  $\nu$  in cui mediamente è valida la prima ipotesi è  $[0,075; 0,667]$ . Poiché l'intervallo all'interno del quale si è fatto variare  $\nu$  è  $[0,10; 0,65]$ , l'ipotesi di armature snervate viene mediamente sempre soddisfatta. E' comunque bene sottolineare che per valori di  $\nu$  minori del primo limite, si va a sovrastimare la duttilità: la profondità dell'asse neutro è maggiore di quella stimata. Per valori di  $\nu$  maggiori del secondo limite, si va a sottostimare la duttilità: la profondità dell'asse neutro è minore di quella stimata.

Si può inoltre dimostrare che la seconda ipotesi è cautelativa solo quando  $\nu$  è maggiore di 0,4. Al di sotto di questo valore si è invece sovrastimato la duttilità in curvatura della sezione.

Le semplificazioni appena approfondite e i relativi effetti rappresentano un aspetto benefico ai fini perseguiti, poiché ci portano a sottostimare la duttilità. E' infatti per sforzi normali adimensionalizzati relativamente grandi che si riscontra una duttilità minore di quella stimata dalla normativa.

I risultati analizzati hanno quindi evidenziato, in conclusione, che le prescrizioni normative finalizzate a garantire un'adeguata duttilità locale alle sezioni trasversali di pilastri in cemento armato possono rivelarsi non sempre sufficientemente cautelative, in special modo per livelli di sforzo assiale relativamente elevati e in particolar modo nel caso di Classi di Duttilità "B".

Tali risultati andrebbero approfonditi attraverso analisi di sezione non semplificate ed estendendo lo studio parametrico effettuato anche al casi di elementi semplicemente inflessi, ovvero travi, sia emergenti che "a spessore".