

## Valutazione semplificata della vulnerabilità sismica: gli edifici in c.a. di Ivrea

Di seguito si valuta uno dei tre fattori del rischio sismico degli edifici: la vulnerabilità sismica.

Il calcolo è stato effettuato in due fasi ed è stato l'oggetto della tesi dell'ing. Sean Ollearo al Politecnico di Torino con relatori i Prof. Alessandro P. Fantilli e Bernardino Chiaia. Nella prima fase è stata compilata la scheda CARTIS di 1° livello (per le tipologie edilizie) e di 2° livello (per gli edifici) riguardanti i soli edifici ordinari residenziali del Comune di Ivrea, nella seconda fase è stata eseguita un'analisi strutturale completa dei due edifici più rappresentativi.

La vulnerabilità sismica è stata valutata in modo semplificato attraverso la valutazione del grado di difformità della costruzione, il quale viene correlato con l'indice di sicurezza I-SV introdotto dalla nuova classificazione del rischio sismico. L'interesse per il Comune di Ivrea discende dal fatto di trovarsi in zona considerata "non sismica" fino al 2003 e caratterizzata da una buona qualità media esecutiva dell'edilizia in c.a. del dopoguerra.

La città di Ivrea è stata suddivisa in comparti omogenei all'interno dei quali è stato possibile compilare le schede CARTIS di 1° livello. La compilazione di tali schede, attività normata da ReLUIIS (Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica), ha l'obiettivo di identificare le tipologie strutturali prevalenti tra gli edifici ordinari del territorio italiano, ricavando lo stato dell'arte del costruito. All'interno dei singoli comparti, sono state catalogate le tipologie strutturali prevalenti, in muratura portante e in cemento armato; per ogni tipologia si è compilata la scheda CARTIS di 2° livello di un edificio più rappresentativo.

COMPARTO	CODICE	TIPOLOGIA	CODICE
Centro Storico 1	CS1	Condomini in Muratura Portante	MUR 1
Centro Storico 2	CS2	Cascinali in Muratura Portante	MUR 1
		Cascinali ristrutturati in Cemento Armato	CAR 1
Espansione Olivettiana 1	EO1	Ville unifamiliari in Cemento Armato	CAR 1
		Condomini Popolari in Cemento Armato	CAR 2
Zona di Espansione 1	ZE1	Edifici in Muratura Portante	MUR 1
		Condomini pre-2003 in Cemento Armato	CAR 1
		Condomini post-2003 in Cemento Armato	CAR 2
		Ville pre-2003 in Cemento Armato	CAR 3
Zona di Espansione 2	ZE2	Ville post-2003 in Cemento Armato	CAR 4
		Edifici in Muratura Portante	MUR 1
		Condomini pre-2003 in Cemento Armato	CAR 1
		Ville pre-2003 in Cemento Armato	CAR 2
		Ville post-2003 in Cemento Armato	CAR 3

**Tabella 1** - Elenco dei comparti e delle tipologie costruttive degli edifici ordinari del Comune di Ivrea

Tra le tipologie elencate sono stati presi in considerazione due edifici campione:

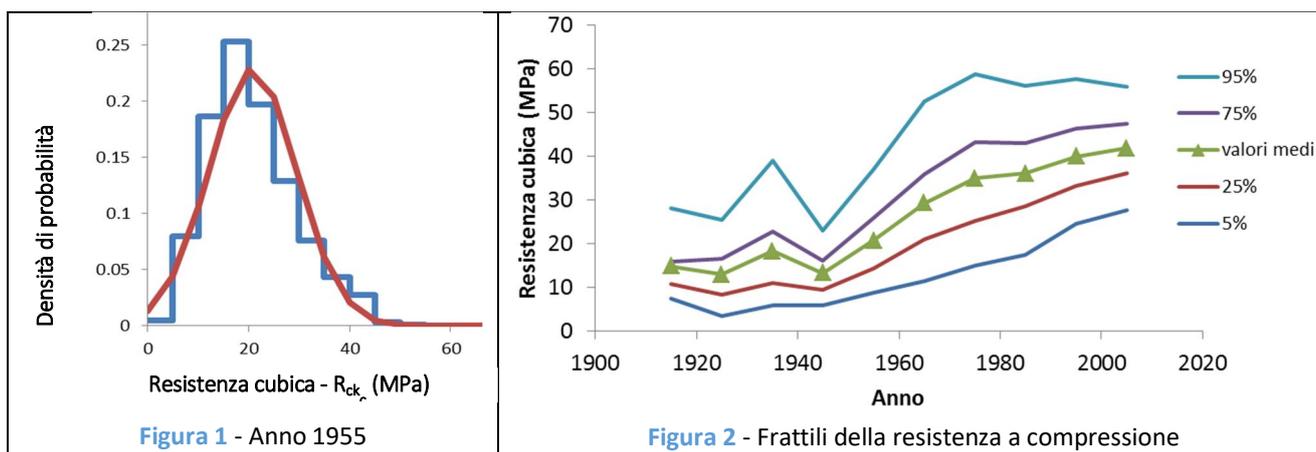
- ZE1 - condomini popolari in c.a., di cui si analizza un edificio risalente al 1959; si tratta di una casa plurifamiliare a 4 piani fuori terra di epoca olivettiana, denominato nel seguito Edificio A;
- ZE2 - condomini pre-2003 in c.a., di cui si analizza un tipico condominio orizzontale a 3 piani fuori terra costruito in collina e risalente al 1973, di seguito denominato Edificio B.

Su tali edifici, rappresentativi delle tipologie costruttive maggiormente diffuse nel Comune di Ivrea, sono state svolte analisi strutturali dinamiche complete secondo le NTC 2008 vigenti.

L'analisi di questi edifici consta di tre fasi: in una prima in cui si identificano i dati necessari al progetto strutturale, con particolare riferimento alla resistenza a compressione del calcestruzzo, nella seconda vi è lo svolgimento del calcolo strutturale vero e proprio e nella terza si misura il Grado di Difformità degli edifici.

Il Grado di Difformità (GD) è un metodo che consente di definire in modo semplificato le carenze dei fabbricati esistenti rispetto ai requisiti minimi richiesti dalle Norme attuali. Infatti, il GD confronta le caratteristiche dell'edificio esistente con quelle definite dalla progettazione antisismica secondo le attuali Normative, definendo, con un semplice rapporto, lo scostamento qualitativo di ciò che si rileva da ciò che ci dovrebbe essere.

Le analisi strutturali delle costruzioni esistenti richiedono la preventiva conoscenza della geometria del costruito, delle sezioni degli elementi strutturali e della disposizione delle armature. Le NTC definiscono un livello di conoscenza degli elementi strutturali in funzione dei dati disponibili, in particolar modo per le proprietà dei materiali. Per l'acciaio, la conoscenza diretta delle proprietà meccaniche non è determinante e si possono utilizzare le proprietà delle armature in commercio all'epoca della costruzione (progetto simulato).



Al contrario, la conoscenza della resistenza cubica a compressione del calcestruzzo ( $R_{ck}$ ) risulta di fondamentale importanza per definire l'affidabilità dell'analisi strutturale. In genere, la documentazione disponibile non riporta la resistenza a compressione del calcestruzzo, che in passato era spesso definita da una specifica composizione, anziché da una ben precisa prestazione meccanica. Per tale ragione, il valore della resistenza a compressione del calcestruzzo esistente può essere stimato mediante curve di resistenza in funzione dell'età di costruzione degli edifici, definite dal database storico delle prove di certificazione dei materiali eseguite nel Dipartimento di Ingegneria Strutture Edile e Geotecnica (DISEG) del Politecnico di Torino; queste curve possono essere considerate un'alternativa alle indagini in sito distruttive e/o non distruttive. A titolo di esempio, in Figura 1, si riporta la distribuzione delle resistenze cubiche a compressione dei calcestruzzi messi in opera nell'anno 1955 e, in Figura 2, la distribuzione dei valori medi di  $R_{ck}$ , misurati in circa 100 anni di prove di certificazione dei calcestruzzi strutturali, e dei relativi frattili. I valori medi di  $R_{ck}$  e dei relativi frattili degli edifici A e B sono riportati nella Tabella 2.

$R_{ck}$ (MPa)						
Edificio	Anno di costruzione	Frattile 5%	Frattile 25%	Frattile 50% (valore medio)	Frattile 75%	Frattile 95%
A	1955	8.8	14.3	20.8	25.9	37
B	1975	15.1	25.4	35	43.2	58.9

**Tabella 2** – Valori di resistenza a compressione del calcestruzzo negli anni 1955 e 1975



Dai calcoli fatti si è osservato che la variazione della resistenza a compressione del calcestruzzo, dai valori del frattile 5% fino a quelli del frattile 95% riportati in Tabella 2, non modificano le distinte delle armature negli elementi strutturali calcolate secondo le vigenti Norme Tecniche. Ciò è dovuto al fatto che nelle travi e nei pilastri l'armatura è prossima a quella minima di Normativa.

Alla luce dei risultati ottenuti, si può valutare il grado di difformità delle strutture (di cui si riporta un piccolo estratto in Tabella 3) inteso come differenza tra il quantitativo di armature calcolato in ottemperanza alle vigenti Norme Tecniche e quello effettivamente presente:

$$gdd_i = \frac{c_{1i} - c_{2i}}{c_{2i}} \times 100 [\%]$$

In cui  $c_1$  è la massa complessiva delle armature calcolate in accordo con le Norme vigenti e  $c_2$  è la massa complessiva delle armature effettivamente presenti.

Codice identificativo Elemento	$c_1$	$c_2$	$(c_1 - c_2)/c_1$
	Peso ferro secondo NTC08 [kg]	Peso ferro presente nel costruito [kg]	Grado di difformità elemento [%]
T.031	158.59	54.67	190.09%
T.019	85.25	22.98	271.03%
T.020	104.63	24.84	321.24%
T.021	103.09	23.35	341.40%
T.023	119.47	38.18	212.89%

Tabella 3 - Grado di difformità negli elementi trave dell'edificio A

In un singolo edificio, la media dei  $gdd$ , ponderata rispetto al quantitativo di armature necessarie, consente di calcolare il grado di difformità GD dell'intera struttura:

$$GD = \frac{\sum_{i=1}^n gdd_i \times c_{1i}}{\sum_{i=1}^n c_{1i}} [\%]$$

Maggiore è il GD e maggiore sarà la vulnerabilità della struttura, soprattutto rispetto alle azioni sismiche. I gradi di difformità dei due edifici rappresentativi (i.e.,  $GD_{edificio A} = 172.60\%$  e  $GD_{edificio B} = 163.50\%$ ) non sono molto diversi tra loro e, per tale ragione, possiamo affermare che gli edifici in c.a. esistenti nel comune di Ivrea, hanno un valore medio del grado difformità pari a 169.00%.

Le nuove linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni esistenti (D.M. 7 marzo 2017) si pongono l'obiettivo di fornire gli strumenti operativi per classificare le costruzioni esistenti all'interno di 8 classi di sicurezza. Per le costruzioni in cemento armato occorre eseguire un'analisi completa del fabbricato e determinare l'Indice di Sicurezza IS-V con la formula:

$$IS - V = \frac{PGA_{SLV}}{PGA_D} [\%]$$

In cui  $PGA_{SLV}$  è l'accelerazione al suolo che determina il raggiungimento dello stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e  $PGA_D$  è l'accelerazione al suolo del sito in esame.

Nel caso degli edifici in c.a. del comune di Ivrea, nella valutazione di IS-V gioca un ruolo fondamentale la percentuale di armatura degli elementi strutturali, calcolata come rapporto tra l'area occupata dalle armature longitudinali e l'area del calcestruzzo in una determinata sezione strutturale.

Nel caso in esame si fa riferimento a quattro percentuali di armatura: quella esistente, quella ottenuta nel rispetto della Normativa vigente e due percentuali (1% e 2,5%). Per ognuno di questi quattro valori si calcola il grado di difformità e l'indice di sicurezza, considerando una  $PGA_D$  pari a  $0.424 \text{ m/s}^2$  ottenuta per il comune di Ivrea nel caso di un tempo di ritorno pari a 50 anni. Il Grado di Difformità e l'Indice di Sicurezza si

possono relazionare con semplicità e, per questo motivo, il calcolo di GD può rilevarsi utile al fine della determinazione della classe di rischio dell'edificio, come visibile nelle tabelle e nel grafico seguente.

$T_R = 50$ anni - Classe d'uso II - $PGA_D = 0,424 \text{ m/s}^2$		
$\rho$ (percentuale di armatura)[%]	GD (grado di difformità) [%]	ISV (indice di sicurezza) [%]
2.50%	-48%	175%
1.50% (da calcolo sismico)	0%	100%
1.00%	43%	35%
0.80% (esistente)	169%	0%

Tabella 4 - Grado di Difformità e Indice di Sicurezza

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	$A^+_{IS-V}$
$80\% \leq IS-V < 100\%$	$A_{IS-V}$
$60\% \leq IS-V < 80\%$	$B_{IS-V}$
$45\% \leq IS-V < 60\%$	$C_{IS-V}$
$30\% \leq IS-V < 45\%$	$D_{IS-V}$
$15\% \leq IS-V < 30\%$	$E_{IS-V}$
$IS-V \leq 15\%$	$F_{IS-V}$

Tabella 5 - Attribuzione della classe di rischio in funzione dell'indice di sicurezza IS-V

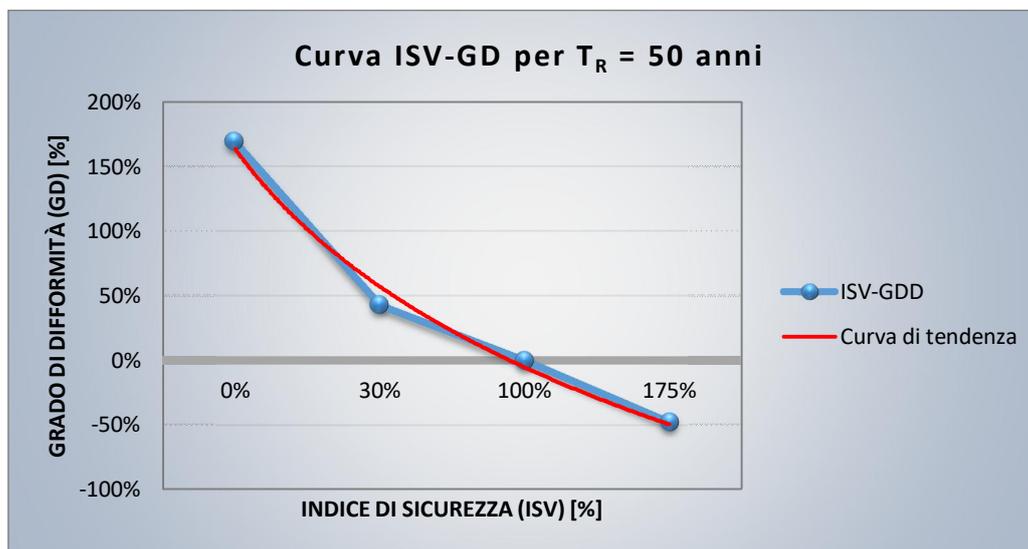


Figura 6 - Grafico di correlazione GD-ISV per zona sismica 4 nel comune di Ivrea

In relazione alla compilazione della scheda CARTIS nel Comune di Ivrea e alle analisi strutturali eseguite sui due edifici in c.a. si possono trarre le seguenti conclusioni:

- l'esame macro-sismico rivela la presenza nel territorio eporediese di gran numero di edifici in c.a. ad elevata vulnerabilità sismica, originariamente progettati per i soli carichi verticali.
- nel caso specifico si rileva una sostanziale differenza del costruito rispetto a ciò che la Normativa oggi richiederebbe per il fatto che solo con la classificazione del 2003 Ivrea è rientrata in zona sismica.
- è possibile ridurre la classe di rischio degli edifici in c.a. del comune di Ivrea semplicemente cambiando il contenuto di armatura degli elementi strutturali.

Per maggiori informazioni visitate la pagina: [http://www.cdmdolmen.it/lavori/lav\\_ollearo.htm](http://www.cdmdolmen.it/lavori/lav_ollearo.htm)