

Città di Torino  
Settore edilizia scolastica nuove opere

VERIFICHE TECNICHE  
STRUTTURALI SU EDIFICI SCOLASTICI  
INSERITI NELLE OPERE DI MANUTENZIONE  
STRAORDINARIA  
CIRCOSCRIZIONI 7-8-1 PARTE (CENTRO)

## **PERIZIA STATICA PRELIMINARE**

*(fase 1)*

*Scuola Elementare statale “San Giacomo”*

*Strada S.Vincenzo n. 42 - TORINO*

Il professionista

Ing. Carmelo RINALDIS

# Indice

1.	Introduzione .....	3
2.	Riferimenti normativi.....	4
3.	Documentazione acquisita.....	4
4.	Descrizione generale dell'opera .....	4
5.	Descrizione delle strutture.....	5
6.	Analisi del quadro fessurativo e delle criticità riscontrate .....	6
7.	Criteri di analisi.....	7
8.	Analisi strutturale secondo normativa originaria .....	7
8.1.	Criteri generali di analisi e di verifica .....	7
8.2.	Caratteristiche dei materiali .....	7
8.3.	Analisi dei carichi.....	8
8.4.	Analisi delle sollecitazioni e verifica elementi .....	9
9.	Valutazione della sicurezza secondo normativa attuale (NTC 2008).....	10
9.1.	Criteri generali di analisi e di verifica .....	11
9.2.	Caratteristiche dei materiali .....	12
9.3.	Analisi dei carichi.....	13
9.4.	Analisi delle sollecitazioni e verifica elementi .....	14
10.	Conclusioni.....	15

## 1. Introduzione

Nel contesto delle opere di manutenzione straordinaria di alcuni edifici scolastici appartenenti alle circoscrizioni 7, 8 e parte della 1, nel territorio della Città di Torino, sono previste delle verifiche tecniche strutturali, nella forma di perizia statica, in conformità alle leggi vigenti all'epoca della costruzione, e la valutazione della sicurezza secondo la procedura prevista dal D.M. 14/1/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni".

Lo svolgimento delle verifiche suddette è articolato in due fasi temporali, di seguito descritte:

- Fase 1: predisposizione di una perizia statica preliminare, valutando la sicurezza strutturale dell'edificio nel rispetto delle normative vigenti all'epoca della costruzione e delle normative attuali, e progettazione di una campagna di indagini conoscitive sulle strutture e sui materiali costitutivi;
- Fase 2: direzione operativa della campagna di indagini conoscitive ed emissione, ove ricorrano le condizioni, del certificato di idoneità statica, accompagnato dalla perizia statica conclusiva.

Nella fase attuale di verifica (Fase 1) sussistono naturalmente delle incertezze, differenti da caso a caso in funzione delle informazioni già disponibili e dalla facilità di comprensione della struttura tramite semplici rilievi visivi. Per tale ragione, la valutazione della sicurezza statica è da considerarsi in ogni caso approssimativa, e dunque la perizia statica dovrà ritenersi "preliminare".

La presente perizia riguarda le strutture del plesso scolastico in cui ha sede la scuola elementare "San Giacomo", in strada S.Vincenzo n. 42 a Torino.

La prima parte della relazione comprende la descrizione generale dell'opera e delle strutture, l'inquadramento storico del fabbricato e l'eventuale evoluzione costruttiva, e i risultati dei rilievi e delle indagini condotte (Capitoli 2 – 7); la seconda riguarda l'analisi dei risultati ottenuti applicando la normativa vigente all'epoca della costruzione (Capitolo 8), mentre la terza parte riassume una valutazione dei livelli di sicurezza secondo il D.M. 14/1/2008 attualmente vigente (Capitolo 9).

La documentazione fotografica a corredo della presente relazione è riportata nell'Allegato n. 1.

## 2. Riferimenti normativi

La Normativa di riferimento per l'esecuzione delle verifiche tecniche è riportata di seguito:

1. Regio Decreto n. 2229 del 16/11/1939 “Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato”;
2. Circ. Min. LL.PP. n. 1472 del 23/05/1957 “Armature delle strutture in cemento armato”;
3. Circ. Min. LL.PP. n. 1547 del 17/05/1965 “Caratteristiche e modalità di impiego nel cemento armato degli acciai ad aderenza migliorata”;
4. Norme CNR UNI 10012/67 “Ipotesi di carico sulle costruzioni”;
5. D.M. LL.PP. n. 180 del 30/05/1972;
6. D.M. LL.PP. n. 198 del 30/05/1974;
7. Legge n. 1086 del 5/11/1971 “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”;
8. D.M. 14/01/2008 “Norme tecniche per le costruzioni”, S.O. n. 30 alla G.U. n. 29 del 4/2/08 (*abbreviate nel seguito come “NTC 2008”*);
9. Circolare esplicativa delle Norme Tecniche per le Costruzioni, di cui al n. 617 S.O. del n. 27 alla G.U. n. 47 del 26/2/2009 (*abbreviata nel seguito come “Circolare delle NTC 2008”*).

## 3. Documentazione acquisita

Sulla base delle ricerche effettuate dal Settore Edilizia Scolastica del Comune di Torino, non risulta disponibile alcuna documentazione progettuale riguardante le strutture dell'edificio in esame.

Pertanto le informazioni sulla geometria delle strutture dovranno essere acquisite tramite un dettagliato rilievo ex-novo, integrato da un progetto simulato ipotizzando il quantitativo delle armature utilizzate, di cui si relazionerà nel seguito.

## 4. Descrizione generale dell'opera

Il plesso scolastico in oggetto è costituito da un singolo fabbricato, ubicato nella circoscrizione 8 del territorio comunale della Città di Torino, con accesso principale da strada S.Vincenzo n. 42.

La progettazione del fabbricato risale al 1963 circa e la sua costruzione al 1964 circa, secondo quanto riferito dai tecnici comunali; la destinazione d'uso prevista al momento della costruzione è rimasta immutata e corrisponde a quella di edificio scolastico.

Il fabbricato presenta una pianta di forma irregolare, con un nucleo circolare in posizione centrale dal quale si sviluppano gli altri locali, secondo direttrici differenti, come meglio evidenziato negli elaborati grafici di supporto (cfr. Allegato 2).

La tipologia costruttiva è basata su gruppi di setti in calcestruzzo armato, ad asse rettilineo o circolare per il nucleo centrale, aventi sia funzione statica sia di tamponatura esterna, su cui poggiano i solai in laterocemento (cfr. Allegato 1 fig. 1-2). I divisori interni sono in muratura di mattoni (cfr. Allegato 1 fig. 8), mentre nelle aule delimitate verso l'esterno dai setti in c.a. è stato realizzato un contromuro in mattoni da 8 cm. La struttura di copertura è in calcestruzzo armato, con manto di copertura in pannelli di lamiera grecata.

La distribuzione interna dei locali, posti tutti al piano terreno, prevede un nucleo centrale in cui si svolgono attività collettive, cinque aule didattiche, servizi igienici, due laboratori, un locale per preparazione pasti, oltre a una centrale termica.

La copertura è organizzata a falde, a singola pendenza per quanto riguarda i locali che convergono sul nucleo centrale e a doppia pendenza per tre aule (cfr. Allegato 2).

Non è presente alcun tipo di controsoffittatura.

L'altezza interpiano è differente nei vari locali, poiché la quota del pavimento segue la pendenza del corridoio di accesso alle aule, mentre il nucleo centrale ha altezza pari a 5,35 m circa dal piano di calpestio.

## 5. Descrizione delle strutture

*In riferimento a quanto indicato nel capitolo introduttivo, si premette che la conoscenza della struttura e dei materiali costitutivi in questa fase di verifica (Fase 1) è limitata.*

*Come già indicato, la documentazione progettuale sulle strutture non è disponibile ed è stato necessario pertanto procedere, in questa fase di verifica, a rilevare in situ le strutture visibili ad occhio nudo e a simulare l'armatura utilizzata.*

Le strutture sono formate da elementi in calcestruzzo armato eseguito in opera, del tipo a setto, con fondazioni di tipo sconosciuto; non sono stati inoltre rilevati dei giunti strutturali (cfr. Allegato 1 fig. 3-4-5-6).

L'armatura degli elementi strutturali è costituita presumibilmente da barre d'acciaio lisce del tipo Aq.50 (cfr. Allegato 1 fig. 9), secondo la pratica dell'epoca.

La struttura in elevazione è formata da setti ad asse rettilineo o curvilineo, aventi spessore di 30 cm circa, che delineano il perimetro del fabbricato e sostengono il solaio di copertura.

Il nucleo centrale ha invece una pianta circolare ed è strutturalmente composto da un setto di spessore di 25 cm circa, su cui poggia un solaio di copertura di tipologia non rilevabile con certezza ad occhio nudo, ma che si può ipotizzare costituito da travetti incrociati e blocchi in laterizio interposti (cfr. Allegato 1 fig. 10).

I solai delle altre parti del fabbricato sono realizzati in laterocemento, con blocchi di laterizio ad interasse di 50 cm circa, di altezza attualmente sconosciuta.

Gli elaborati grafici di supporto alle verifiche sono riprodotti nell'Allegato 2 alla presente relazione.

## 6. Analisi del quadro fessurativo e delle criticità riscontrate

Durante i sopralluoghi del 19 maggio e del 7 giugno 2010, l'indagine visiva ha evidenziato i seguenti aspetti:

- Appaiono ad occhio nudo fessurazioni localizzate in alcune zone dei setti in calcestruzzo armato, come ad esempio in corrispondenza della finestra lato nord oppure del nucleo centrale;
- Ci sono fessurazioni nelle tramezzature interne in diversi punti del fabbricato, particolarmente evidenti nel corridoio di fronte all'ultima aula (cfr. All.1 fig. 13) e nei servizi igienici maschili (cfr. All.1 fig. 11-14); sono altresì presenti fessurazioni in alcune zone del solaio di copertura (cfr. All.1 fig. 12);
- Ci sono tracce di infiltrazione d'acqua a soffitto, in corrispondenza del laboratorio di informatica (cfr. All.1 fig. 7).

*In questa fase di verifica, non è stato possibile ispezionare visivamente la stratigrafia degli elementi divisorii interni, per appurare l'effettiva tipologia costruttiva e l'eventuale funzione portante degli stessi. Parimenti, non sono noti la tipologia e gli spessori dei solai di copertura.*

*Queste incognite, che costituiscono al momento un elemento di incertezza nella valutazione generale della sicurezza del fabbricato, saranno oggetto di indagine nella fase successiva dei lavori (Fase 2).*

## 7. Criteri di analisi

L'analisi della struttura è stata condotta in modalità "tradizionale", ossia senza l'ausilio di un modello numerico, esaminando le sollecitazioni agenti sugli elementi più rappresentativi della struttura, con i criteri della Scienza delle Costruzioni. Infatti, a causa della limitata conoscenza della struttura in questa fase di verifica, per i motivi relazionati in precedenza, la modellazione eseguita al calcolatore avrebbe poco significato.

Le verifiche sono svolte utilizzando il metodo delle tensioni ammissibili (secondo normativa originaria) e degli stati limite (per le verifiche con NTC 2008).

L'analisi strutturale viene condotta in campo lineare e considerando il materiale perfettamente elastico. La schematizzazione del sistema resistente è del tipo a mensole incastrate al piede e vincolate in testa dalle travi e dai travetti di solaio della copertura.

## 8. Analisi strutturale secondo normativa originaria

Sulla base della data presunta di costruzione del fabbricato (1964) e dall'analisi della normativa storica sulle costruzioni, si desume che la normativa in vigore all'epoca della progettazione fosse la seguente:

- Per il calcestruzzo armato: R.D. n. 2229 del 1939;
- Per l'acciaio d'armatura: Circolare LL.PP. n. 1472 del 1957;
- Per le azioni sulle costruzioni: si utilizzano i carichi indicati dalle UNI CNR 10012/67, anche se successive al 1964.

### 8.1. Criteri generali di analisi e di verifica

Nel rispetto della normativa originaria sopra riportata, la struttura è stata verificata con il metodo delle tensioni ammissibili. La sicurezza è pertanto valutata confrontando le sollecitazioni agenti negli elementi strutturali con i valori di tensione ammissibile fissata per l'acciaio e il calcestruzzo.

Le verifiche sono condotte in funzione della geometria degli elementi strutturali rilevati in situ (cfr. Allegato 2) e delle armature minime ipotizzate in un progetto simulato, in accordo con la normativa dell'epoca.

### 8.2. Caratteristiche dei materiali

*Come specificato nel capitolo introduttivo, le caratteristiche dei materiali non sono disponibili in quanto mancano tutti gli elaborati progettuali; parimenti, non sono disponibili in questa fase di verifica i certificati di prova sulle resistenze meccaniche dei materiali di uso strutturale. Di*

conseguenza, le caratteristiche dei materiali sono state ipotizzate sulla base di quanto era richiesto dalla normativa dell'epoca.

<b>CALCESTRUZZO</b>		
Tipo di cemento	-	32.5
Classe di resistenza $R_{ck}$	N/mm <sup>2</sup>	25
Tensione ammissibile $\sigma_{c,amm}$	N/mm <sup>2</sup>	7.78
Modulo elastico normale ( $E_{cm}$ )	N/mm <sup>2</sup>	28460
Modulo elastico tangenziale ( $G_{cm}$ )	N/mm <sup>2</sup>	12374
Coefficiente di Poisson $\nu$	-	0.15
Peso specifico calcestruzzo armato	kN/m <sup>3</sup>	25

<b>ACCIAIO D'ARMATURA</b>		
Tipo	-	Aq.50
Tensione ammissibile $\sigma_{s,amm}$	N/mm <sup>2</sup>	160
Modulo elastico normale ( $E_{sm}$ )	N/mm <sup>2</sup>	210000
Modulo elastico tangenziale ( $G_{sm}$ )	N/mm <sup>2</sup>	91304
Coefficiente di Poisson $\nu$	-	0.15
Peso specifico	kN/m <sup>3</sup>	78.5
Coefficiente di omogeneizzazione $n$	-	15

### Terreno di sottosuolo

Le caratteristiche geologiche e geotecniche del terreno di sottosuolo per il sito in esame non sono attualmente conosciute (cfr. Documentazione acquisita) e dovranno quindi essere valutate mediante un'opportuna indagine conoscitiva, i cui risultati saranno acquisiti nella seconda parte di verifica (cfr. Introduzione). Nell'attuale fase di verifica si ipotizza pertanto, in via cautelativa, un valore di capacità portante ammissibile  $q_{amm}$  pari a 100 kPa.

### **8.3. Analisi dei carichi**

Ai fini delle verifiche, le azioni che si manifestano sulla struttura sono valutate in riferimento ai valori nominali, individuati dalle norme UNI CNR 10012/67 per la pertinente destinazione d'uso. Le tabelle seguenti riassumono i valori utilizzati, in cui si è ipotizzato uno spessore di solaio grezzo pari a 25 cm, compatibile con la limitazione di 1/25 della luce massima di solaio.

#### *Solaio di copertura*

##### **Carichi permanenti**

Solaio in laterocemento (20+5) cm	kN/m <sup>2</sup>	3.00
Permanenti portati (rivestimento, lamiera)	kN/m <sup>2</sup>	1.50
<b>Totale</b>	kN/m <sup>2</sup>	<b>4.50</b>



**Carichi variabili**

Carico variabile (neve)	kN/m <sup>2</sup>	<b>0.90</b>
<b>Totale</b>	kN/m <sup>2</sup>	<b>5.40</b>

**8.4. Analisi delle sollecitazioni e verifica elementi**

Si riportano nel seguito i dettagli delle verifiche svolte su alcuni elementi, selezionati tra quelli più significativi. *Le verifiche sono condotte, come già indicato, in funzione della geometria rilevata (cfr. Allegato 2) e delle armature minime ipotizzate in un progetto simulato, secondo quanto richiesto dalla normativa dell'epoca.*

Le verifiche sono state effettuate sui sottoelencati elementi:

**Travetto di solaio** - rif. Aula 1/16 (cfr. Allegato 2) - luce netta = 6.05 m

da progetto simulato: Armatura in mezzeria:  $A_{sup} = 0$ ;  $A_{inf} = 2\phi 16$ ;  
 Armatura in estremità:  $A_{sup} = 2\phi 16$ ;  $A_{inf} = 1\phi 16$ ;

Si ipotizza un momento flettente pari a  $ql^2/12$  in estemità e  $ql^2/10$  in mezzeria.

Momento flettente sollecitante (max negativo):  $M_{s,-} = -9.08$  kNm

Momento flettente resistente (negativo):  $M_{R,-} = -12.8$  kNm

-->  $|M_{R,-}| > |M_{s,-}|$  **verifica soddisfatta**

$\sigma_c = 6.01$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{c,adm}$  (= 7.78 N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_s = 113$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{s,adm}$  (= 160 N/mm<sup>2</sup>)

Momento flettente sollecitante (max positivo):  $M_{s,+} = 10.9$  kNm

Momento flettente resistente (positivo):  $M_{R,+} = 13.5$  kNm

-->  $|M_{R,+}| > |M_{s,+}|$  **verifica soddisfatta**

$\sigma_c = 3.36$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{c,adm}$  (= 7.78 N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_s = 129$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{s,adm}$  (= 160 N/mm<sup>2</sup>)

**Setto** - rif. Aula 1/16 (cfr. Allegato 2) - spessore = 0.30 m

(in riferimento a striscia di larghezza unitaria) - Schema a portale incastrato alla base, con quota di fondazione ipotizzata a -1.50 m dal livello del piano di campagna.

Peso proprio:

$N_p = 40$  kN

Reazione vincolare dal solaio copertura:

$N_s = 17$  kN

Sforzo normale sollecitante (max):

$N = N_p + N_s = -57$  kN

Momento flettente da solaio copertura:

$M_s = 20$  kNm

Armatura sezione al piede:

$(1+1)\phi 10$  mm / 25 cm

$\sigma_c = 3.05$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{c,adm}$  (= 7.78 N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_s = 142$  N/mm<sup>2</sup> <  $\sigma_{s,adm}$  (= 160 N/mm<sup>2</sup>)

**verifica soddisfatta**

**Fondazione del setto** - rif. Aula 1/16 (cfr. Allegato 2)

(in riferimento a striscia di larghezza unitaria)

da progetto simulato: piede di fondazione di larghezza 1.10 m e altezza 0.50 m

Peso proprio fondazione:

$$N_{\text{fond}} = 13 \text{ kN}$$

Sforzo normale su terreno:

$$N_{\text{terreno}} = N_{\text{fond}} + N = 70 \text{ kN}$$

$$\sigma_t = 63 \text{ kN/m}^2 < q_{\text{adm}} (=100 \text{ kN/m}^2)$$

verifica soddisfatta

Tutti gli elementi sopra verificati, ai sensi della normativa dell'epoca, danno ovviamente dei risultati favorevoli, in quanto l'armatura è frutto di un progetto simulato. Per la validazione di tali risultati sono però necessari dei riscontri su geometria ed armatura, eseguibili con la campagna di indagini e prove prevista nella seconda fase di verifiche (Fase 2).

## 9. Valutazione della sicurezza secondo normativa attuale (NTC 2008)

Ai sensi della normativa tecnica vigente (NTC 2008), la valutazione della sicurezza delle costruzioni esistenti dovrà essere condotta nel rispetto degli stati limite ultimi, nella combinazione relativa allo stato di salvaguardia della vita umana (SLV) o allo stato di collasso (SLC); nella presente relazione, la verifica è condotta nei confronti dello SLV.

*Non sono contemplate invece, per la finalità delle presenti verifiche statiche, le azioni di tipo sismico.*

L'analisi storico-critica del fabbricato è descritta nel capitolo 3, mentre il rilievo geometrico-strutturale, eseguito in occasione dei sopralluoghi alle opere, è sintetizzato negli elaborati grafici allegati alla presente relazione (Allegato 2).

La Normativa indica che, sulla base delle informazioni già disponibili e della quantità di indagini e prove previste nella campagna di prove in progetto, il livello di conoscenza *raggiungibile* per la struttura in esame possa essere classificato come "limitato" (LC1) o "adeguato" (LC2). La scelta dipenderà principalmente dall'attendibilità e dall'uniformità dei risultati d'indagine.

In questa fase di verifica preliminare si ipotizza il livello di conoscenza più basso (LC1), sebbene non siano ancora state eseguite le indagini in situ e le prove previste nella Fase 2.

Il livello di conoscenza "limitato" è definito dagli aspetti sotto elencati:

Geometria: è nota in base ai rilievi in situ, condotto, per le finalità insite in questa prima fase di verifica, sugli elementi strutturali direttamente ispezionabili. L'individuazione di alcuni elementi strutturali è stata svolta in modo indiretto con l'ausilio di un pacometro mod. Profometer 5/S della PROCEQ S.A., Svizzera, non essendo consentito in questa fase operare una rimozione dell'intonaco presente.

Dettagli costruttivi: i dettagli costruttivi non sono disponibili dagli elaborati esecutivi delle strutture e sono dunque ipotizzati da un progetto simulato, in accordo con la normativa dell'epoca della costruzione.

Secondo la Normativa attuale (cfr. Tab. C8A.1.2 della Circolare), in questa configurazione sono richieste *limitate verifiche in-situ*, effettuando un rilievo dei dettagli costruttivi sul 15% del totale degli elementi strutturali primari. Tali rilievi saranno oggetto di una specifica campagna di indagini conoscitive, da eseguirsi nella Fase 2 di verifica.

Proprietà dei materiali: le informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali non sono disponibili, e quindi si adottano i valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca, convalidati da limitate prove in-situ.

Secondo la Normativa attuale (cfr. Tab. C8A.1.2 della Circolare), sono quindi richieste *limitate prove in-situ*, nella misura di 1 provino di calcestruzzo per 300 m<sup>2</sup> di solaio e di 1 campione di armatura per piano dell'edificio.

Tali prove saranno oggetto di una specifica campagna di indagini conoscitive, da eseguirsi nella Fase 2 di verifica.

Il fattore di confidenza (FC) corrispondente al livello di conoscenza ipotizzato è pari a **1.35** (cfr. Tab. C8A.1.2 della Circolare).

### 9.1. Criteri generali di analisi e di verifica

#### Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento

L'edificio in progetto rientra tra le opere di importanza normale (NTC Tabella 2.4.I), per cui la vita nominale è pari a  $V_N \geq 50$  anni. La classe d'uso è invece determinata come Classe III, in quanto si tratta di edifici scolastici, come precisato nelle Istruzioni alle NTC al § 2.4.2.

Di conseguenza, il periodo di riferimento è pari a  $V_R \geq 75$  anni.

#### Combinazione delle azioni

Per la verifica allo Stato Limite Ultimo (SLV):  
Valori dei coefficienti di combinazione adottati:

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Categoria	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
C.1 (scuole)	0.7	0.7	0.6
Vento	0.6	0.2	0.0
Neve	0.5	0.2	0.0

I coefficienti parziali di sicurezza per le azioni sono derivati dalle NTC - Tabella 2.6.I e sono pari a:

$$\gamma_{g1} = 1.3$$

$$\gamma_{g2} = 1.5$$

$$\gamma_q = 1.5$$

## 9.2. Caratteristiche dei materiali

Dove non specificato diversamente, si fa riferimento ai valori riportati nel capitolo precedente relativo alle verifiche secondo la normativa dell'epoca di costruzione.

### Prove sclerometriche

E' stata condotta una campagna di prove non distruttive sul calcestruzzo, con l'uso di sclerometro tipo Schmidt, su un numero di elementi scelti a campione, effettuando n. 10 battute per ciascuno di essi. I risultati delle singole prove sono indicati in Allegato 3, mentre nel seguito si riporta il valore della resistenza media caratteristica  $R_{ck,m}$  ottenuto da tali prove.

$$R_{ck,m} = 37 \text{ N/mm}^2$$

Dal momento che il valore ottenuto è superiore a quello pertinente alla classe di calcestruzzo ipotizzato, si può cautelativamente assumere in questa fase di verifiche un valore di riferimento della resistenza del calcestruzzo in opera pari al valore minimo tra i due. E' infatti opportuno considerare che le prove sclerometriche su un calcestruzzo invecchiato conducono generalmente ad una sovrastima della resistenza effettiva del materiale.

<b>CALCESTRUZZO</b>		
Resistenza media caratteristica di riferimento $R_{ck,m}$	N/mm <sup>2</sup>	25
Resistenza media caratteristica $f_{c,m}$	N/mm <sup>2</sup>	20
Coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_c$	-	1.5
Resistenza di calcolo $f_{cd,LC}$	N/mm <sup>2</sup>	8.71
Modulo elastico normale (E <sub>cm</sub> /FC)	N/mm <sup>2</sup>	21023
Modulo elastico tangenziale (G <sub>cm</sub> /FC)	N/mm <sup>2</sup>	9140
Coefficiente di Poisson $\nu$	-	0.15
Peso specifico calcestruzzo armato	kN/m <sup>3</sup>	25

<b>ACCIAIO</b>		
Tipo	-	Aq.50
$f_{yk}$	N/mm <sup>2</sup>	230
Coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_s$	-	1.15
$f_{yd,LC}$	N/mm <sup>2</sup>	148
Modulo elastico normale (Esm/FC)	N/mm <sup>2</sup>	155555
Modulo elastico tangenziale (Gsm/FC)	N/mm <sup>2</sup>	67633
Coefficiente di Poisson $\nu$	-	0.15
Peso specifico	kN/m <sup>3</sup>	78.5

### Terreno di sottosuolo

Conformemente a quanto descritto nel capitolo precedente, non essendo noti i dati relativi al terreno di fondazione, in questa fase di verifica sono stati ipotizzati i seguenti parametri geotecnici, definiti dalle NTC secondo il metodo agli stati limite e riferiti al terreno alla quota di posa delle fondazioni:

Combinazione delle azioni: Approccio 2		(A1+M1+R3)
Angolo di attrito di progetto $\phi'_d$		30°
Coesione efficace di progetto $c'_d$	kPa	0
Densità di progetto $\gamma_d$	kN/m <sup>3</sup>	19
Fattore di sicurezza $\gamma_R$		2.3

### **9.3. Analisi dei carichi**

Ai fini delle verifiche, le azioni che si manifestano sulla struttura sono valutate in riferimento al raggiungimento dello stato limite ultimo (SLV), nella combinazione indicata in precedenza.

I carichi nominali sono in parte desunti da quanto rilevabile in situ in questa fase di verifica (per i carichi permanenti propri e portati) e in parte derivanti da normativa; le tabelle seguenti riassumono i valori utilizzati.

#### *Solaio di copertura*

##### **Carichi permanenti $G_k$**

Solaio in laterocemento (20+5) cm	kN/m <sup>2</sup>	3.00
Permanenti portati (rivestimento, lamiera)	kN/m <sup>2</sup>	1.50
<b>Totale <math>G_k</math></b>	kN/m <sup>2</sup>	<b>4.50</b>

##### **Carichi variabili $Q_k$**

Carico variabile (neve)	kN/m <sup>2</sup>	1.35
<b>Totale <math>G_k + Q_k</math></b>	kN/m <sup>2</sup>	<b>5.85</b>

#### 9.4. Analisi delle sollecitazioni e verifica elementi

Nel seguito si riportano i dettagli delle verifiche svolte sugli stessi elementi analizzati in precedenza, nel capitolo relativo alle verifiche secondo normativa dell'epoca, per consentire un confronto diretto del livello di sicurezza atteso, in rapporto alle due diverse normative.

*Le verifiche sono condotte, come già indicato, in funzione della geometria rilevata (cfr. Allegato 2) e delle armature minime ipotizzate in un progetto simulato, secondo quanto richiesto dalla normativa dell'epoca.*

Le verifiche sono state effettuate sui sottoelencati elementi:

**Travetto di solaio** - rif. Aula 1/16 (cfr. Allegato 2) - luce netta = 6.05 m

da progetto simulato:	Armatura in mezzzeria:	$A_{sup} = 0$ ; $A_{inf} = 2\phi 16$ ;
	Armatura in estremità:	$A_{sup} = 2\phi 16$ ; $A_{inf} = 1\phi 16$ ;

Si ipotizza un momento flettente pari a  $ql^2/12$  in estremità e  $ql^2/10$  in mezzzeria.

Momento flettente di calcolo (negativo):  $M_{sd,-} = -13.2$  kNm

Momento flettente resistente (negativo):  $M_{Rd,-} = -11.4$  kNm

-->  $|M_{Rd,-}| < |M_{sd,-}|$

*verifica non soddisfatta*

Momento flettente di calcolo (positivo):  $M_{sd,+} = 15.9$  kNm

Momento flettente resistente (positivo):  $M_{Rd,+} = 11.9$  kNm

-->  $|M_{Rd,+}| < |M_{sd,+}|$

*verifica non soddisfatta*

Per soddisfare le condizioni di verifica secondo le NTC, la sommatoria dei carichi caratteristici permanenti e variabili dovrebbe essere pari a 4.10 kN/m<sup>2</sup>, ottenibile mediante una riduzione delle azioni pari a  $\alpha = 0.70$ , da cui conseguirebbe  $M_{sd,alfa,-} = -11.4$  kNm.

Poiché non si possono ridurre i carichi permanenti né il carico neve, data la tipologia di costruzione (edificio ad un solo piano fuori terra), *in questa fase di verifica* si conclude che la valutazione della sicurezza ai sensi delle NTC ha esito negativo e che sarebbe necessario eseguire un rinforzo dell'elemento sopra analizzato.

Operativamente è invece opportuno identificare l'armatura effettivamente presente nell'elemento considerato, per poter affinare l'analisi ed incrementare il livello di conoscenza localizzata.

**Setto** - rif. Aula 1/16 (cfr. Allegato 2) - spessore = 0.30 m

Sforzo normale di calcolo:  $N_{sd} = -76$  kN

Momento flettente di calcolo da solaio copertura:  $M_{sd} = 29.8$  kNm

Armatura sezione al piede:

$$A_{\text{tot,prov}} = 628 \text{ mm}^2$$

$$v = 0.029; \mu = 0.038$$

$$\rightarrow \omega = \omega_{\text{min}} = 0.15v = 0.0435 \rightarrow A_{s,\text{min},\omega} = 768 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\text{min}} = 0.003 A_c = 900 \text{ mm}^2 (> A_{\text{tot,prov}})$$

*verifica non soddisfatta*

Sarebbe dunque necessario procedere ad un rinforzo dell'elemento considerato, per incrementare il quantitativo di armatura presente.

### Fondazione del setto - rif. Aula 1/16 (cfr. Allegato 2)

(in riferimento a striscia di larghezza unitaria)

da progetto simulato: piede di fondazione di larghezza 1.10 m e altezza 0.50 m

Per la fondazione in esame, il calcolo della capacità portante secondo il metodo di Brinch-Hansen fornisce un valore di resistenza del terreno  $R_d$  pari a 392 kPa (=3.92 daN/cm<sup>2</sup>), avendo applicato un fattore di sicurezza  $\gamma_M = 2.3$  alla capacità portante limite, secondo l'approccio usato.

Sforzo normale su terreno:

$$q_{\text{medio}} = 85.5 \text{ kN/m}^2 < q_{\text{lim}} (=392 \text{ kN/m}^2)$$

$$N_{\text{sd,terreno}} = -94 \text{ kN}$$

*verifica soddisfatta*

La verifica di alcuni degli elementi scelti a campione non è risultata soddisfatta, nel contesto delle assunzioni e delle ipotesi fatte in precedenza. Con il livello attuale di conoscenza della struttura e stante l'impossibilità di ridurre i carichi gravanti su questi elementi, il soddisfacimento delle condizioni di sicurezza previste nelle NTC richiederebbe dunque un intervento di rinforzo strutturali su questi elementi, finalizzato all'aumento della capacità resistente.

## 10. Conclusioni

Le verifiche condotte sulle strutture della scuola in oggetto, differenziate a seconda della normativa di riferimento selezionata (epoca o NTC), hanno fornito esiti diversi. Sulla base del progetto simulato e delle ipotesi fatte, da convalidare con l'esecuzione della campagna di indagini e prova in progetto, le verifiche condotte in conformità alle normative vigenti all'epoca della costruzione sarebbero infatti generalmente positive, come dimostrato anche dalle buone condizioni generali delle strutture, soggette ai carichi previsti per la destinazione d'uso propria dell'edificio.

Tuttavia, alcune criticità riscontrate in sede di sopralluogo potrebbero segnalare problematiche di ordine statico, che dovranno essere anch'esse appurate e approfondite con la successiva campagna di indagini (Fase 2).

Per quanto concerne invece la valutazione della sicurezza secondo la vigente Normativa (D.M. 14/1/2008), nel quadro generale delle ipotesi e assunzioni fatte su geometria e armatura, le verifiche dettagliate al Capitolo 9 dimostrano che alcuni elementi strutturali non sono adeguati a resistere alle azioni statiche, nella combinazione di carico di stato limite ultimo, mentre altri elementi risultano essere adeguati. La mancata idoneità di alcuni elementi è dovuta prevalentemente alla penalizzazione imposta alle resistenze dei materiali, operata tramite il fattore di confidenza, che tiene conto del basso livello di conoscenza adottato, e solo in misura minore alla differente entità dei carichi nelle due normative. Infatti, secondo l'attuale normativa i carichi variabili per l'uso scolastico hanno un valore inferiore rispetto a quelli della normativa dell'epoca, ad eccezione dei carichi neve, che sono stati invece incrementati.

Le prescrizioni di Legge riguardanti i dettagli costruttivi degli elementi in calcestruzzo armato non sono generalmente rispettate, com'era prevedibile in quanto tali prescrizioni, più restrittive rispetto al passato, sono state introdotte soltanto con le normative più recenti.

Sulla base di quanto esposto, verifiche e valutazioni più approfondite saranno possibili dopo l'esecuzione della campagna di indagini e prove in progetto, a conclusione delle quali sarà possibile indicare all'Amministrazione le eventuali misure da adottare per il mantenimento del livello di sicurezza originario della costruzione, per l'eliminazione delle criticità già riscontrate o di quelle che potrebbero essere evidenziate a seguito delle indagini conoscitive.

Nichelino, lì .....

Il professionista

(ing. Carmelo RINALDIS)

---

*Allegato 1: Documentazione fotografica;*

*Allegato 2: Elaborati grafici di supporto all'analisi;*

*Allegato 3: Risultati della campagna di prove sclerometriche;*

*Allegato 4: Dati e risultati principali del modello di calcolo (su supporto informatico)*