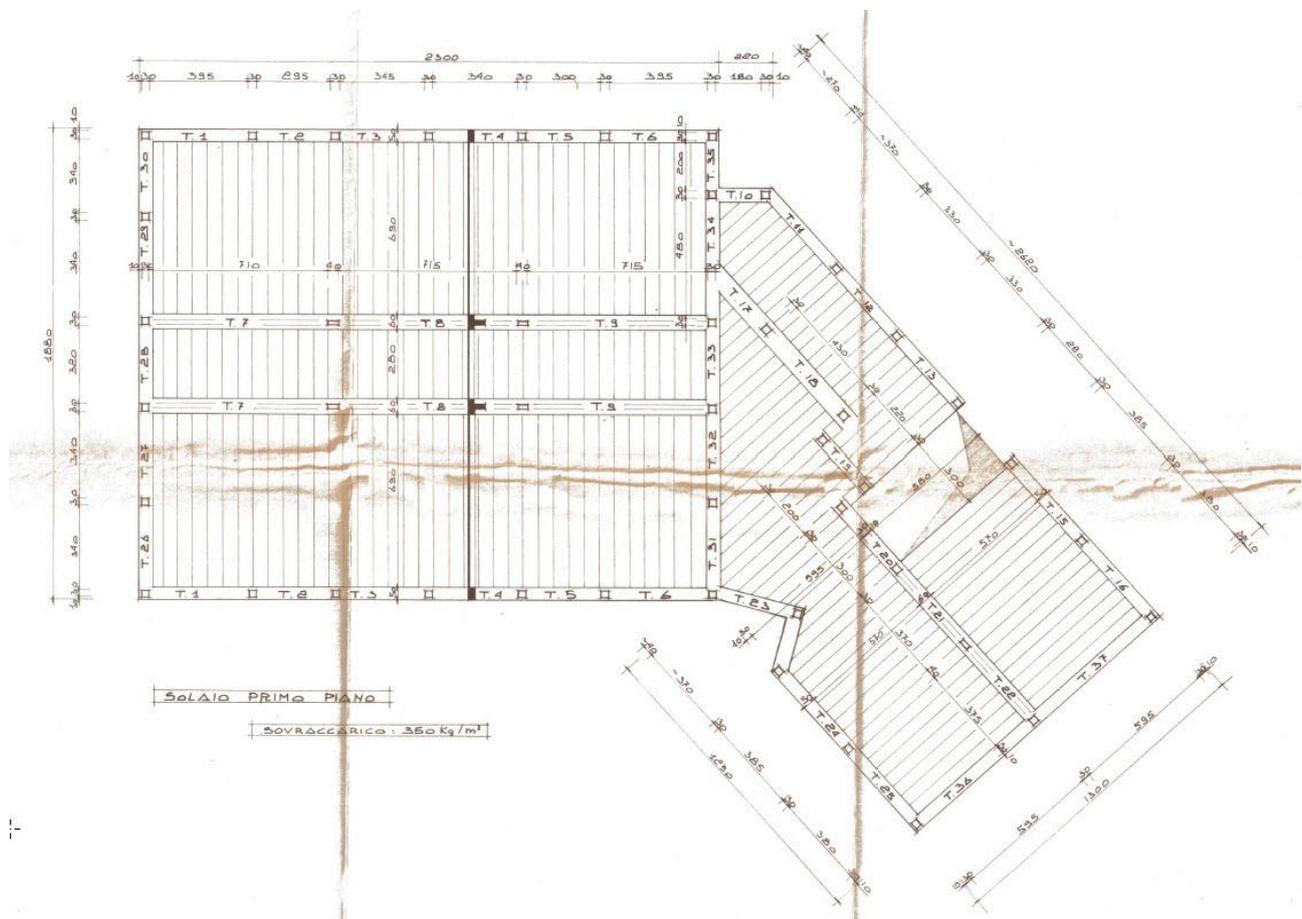


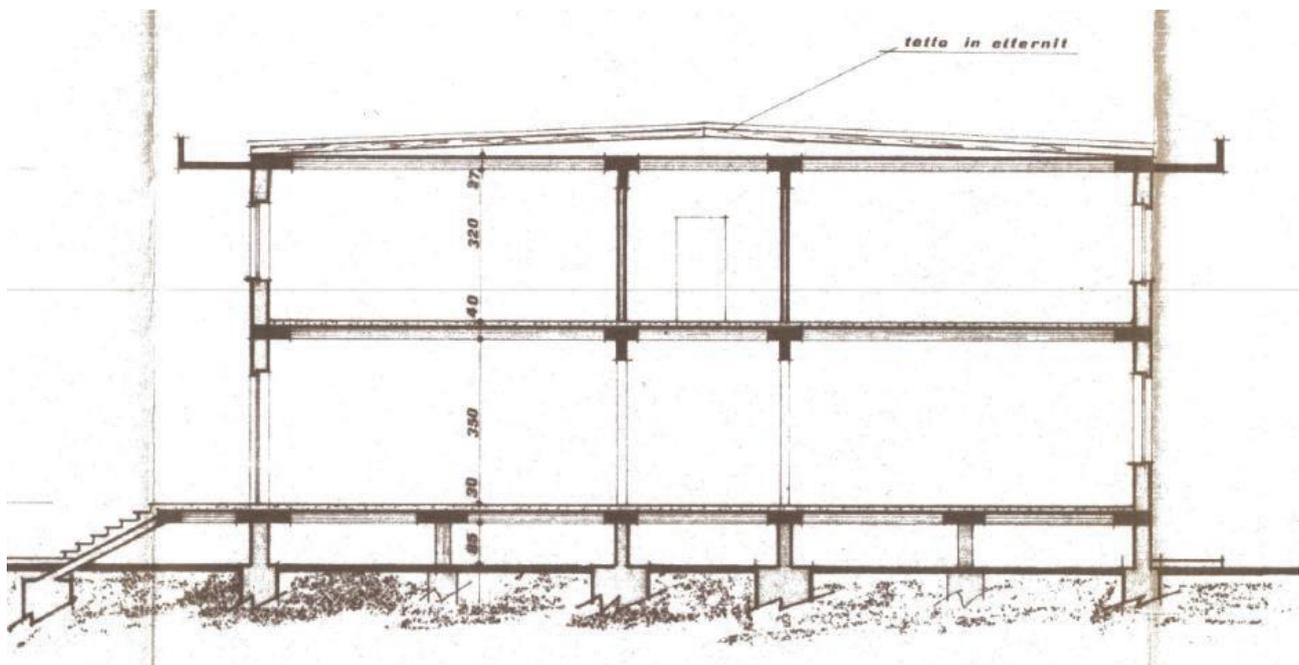
Valutazione e miglioramento sismico con MasterSap

Il caso di un edificio esistente in c.a. di classe II

Le **norme di riferimento** per la valutazione della sicurezza degli edifici esistenti sono le *Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17.01.2018* (NTC 2018) e la *Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019* (Circolare 2019), in quest'ultima sono indicate procedure e verifiche, implementate e aggiornate in dettaglio sin dalla versione MasterSap 2019. A queste norme si aggiungono le *Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni* riportate nell'*Allegato A del D.M. 07.03.2017* (Linee guida).

Le fasi dell'attività progettuale per lo studio degli edifici esistenti sono articolate e complesse. Qui ci limitiamo ad approfondire la fase di **analisi e studio del modello strutturale con l'applicativo MasterSap e altri software della Collana AMV**. Quest'attività può iniziare solo dopo aver portato a termine la fase conoscitiva dell'edificio in esame che comprende lo studio della documentazione e degli elaborati di progetto e il rilievo in situ, sempre necessario.





Dall'analisi e dalle verifiche del modello si definirà il **livello di sicurezza sismica** e la **classe di rischio sismico** dell'edificio esistente. Poi, con un'ipotesi di interventi di rinforzo della struttura, si dimostrerà la possibilità di pervenire a un miglioramento della sicurezza sismica della struttura.

1 Valutazione statica e sismica

Con MasterSap e MasterEsist

La filosofia normativa riguardante i livelli di sicurezza minimi per le costruzioni è descritta nei primi paragrafi della circolare di cui riportiamo qui un estratto molto significativo a riguardo (Fig. 1).

Fig. 1 - Circolare 2019: estratto del paragrafo C1.1 LOGICA DELLA NORMA.

Peraltro, quanto ai livelli di sicurezza minimi da garantire, si consentirà al costruito di averli minori di quelli imposti al nuovo perseguendo dunque, almeno nei casi in cui siano dimensionanti le azioni sismiche, il rafforzamento o il miglioramento piuttosto dell'adeguamento, che verrà limitato alle situazioni in cui è obbligatorio per norma. Tale scelta articolata dei livelli di sicurezza riguarda sia le azioni sismiche sia le azioni gravitazionali, per le quali è possibile riferirsi sia ai carichi permanenti effettivamente presenti (quali individuati a seguito delle indagini condotte) sia a carichi variabili ridotti, accettando restrizioni d'uso.

Infatti, al § 8.3 "Valutazione della sicurezza" si legge: "Nelle verifiche rispetto alle azioni sismiche il livello di sicurezza della costruzione è quantificato attraverso il rapporto ζ_e tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione; l'entità delle altre azioni contemporaneamente presenti è la stessa assunta per le nuove costruzioni, salvo quanto emerso sui carichi verticali permanenti a seguito delle indagini condotte (di cui al § 8.5.5) e salvo l'eventuale adozione di appositi provvedimenti restrittivi sull'uso e, conseguentemente, sui carichi verticali variabili.

La restrizione sull'uso può mutare da porzione a porzione della costruzione e, per l'*i*-esima porzione, è quantificata attraverso il rapporto $\zeta_{v,i}$ tra il valore massimo del sovraccarico variabile verticale sopportabile da quella parte della costruzione e il valore del sovraccarico variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione."

La diversità di trattamento tra nuovo ed esistente (sull'intero territorio nazionale) è motivata dalla volontà di perseguire, in un regime di risorse limitate, la massima riduzione possibile del rischio sismico medio. Così facendo si interviene, a parità di risorse pubbliche impiegate, su un numero di costruzioni esistenti molto maggiore di quello che si avrebbe allineando la sicurezza minima dell'esistente a quella del nuovo.

Il vantaggio che la collettività ne consegue in termini di riduzione di morti, feriti e danni è evidente.

In particolare, senza intervenire a livello globale e con interventi economicamente modesti, si possono eliminare criticità, per lo più locali, capaci di originare meccanismi di collasso anche rilevanti. Dunque, per una riduzione del rischio diffusa, l'eliminazione programmata di modeste criticità può costituire una strategia d'intervento ragionevole ed economicamente sostenibile.

Inoltre, al paragrafo 8.3 delle NTC, si dice che "La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguite con riferimento ai soli SLU, salvo che per le costruzioni in classe d'uso IV, per le quali sono richieste anche le verifiche agli SLE specificate al § 7.3.6 (...)"

Il nostro edificio, essendo in classe d'uso II, necessita perciò delle sole verifiche agli SLU. Per definirne poi la classe di sicurezza sismica secondo le *Linee guida* sarà necessario anche un controllo allo SLD, vedremo nel dettaglio in seguito.

La valutazione della sicurezza degli edifici esistenti riguarda due aspetti, quello sismico e quello statico, per quest'ultimo la Circolare prevede la possibilità, ove necessario, di imporre delle restrizioni d'uso atte a definire un'adeguata sicurezza statica delle strutture attraverso un "controllo" del sovraccarico verticale variabile (C8.3 Valutazione della sicurezza, Circolare 2019). In tale caso il coefficiente che indica la sicurezza statica della struttura sarà ζ_{vi} ossia il rapporto tra il valore massimo del sovraccarico verticale variabile sopportabile e il valore del sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione, il tutto valutato anche solo per una porzione i-esima della struttura (la quale potrebbe appunto subire delle prescrizioni d'uso).

La valutazione della sicurezza sismica avviene attraverso il fattore indicativo ζ_E : rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione sul medesimo suolo e con le medesime caratteristiche, valutato tramite l'accelerazione al suolo ($a_g \cdot S$); nella tabella qui di seguito sono riportati i parametri che costituiscono la domanda sismica di SLD ed SLV.

	T_r	a_g/g	F_0	T_c^*	C_c	S_s	PGA ($a_g \cdot S$)
SLD	50	0.053	2.49	0.26	1.44	1.20	62.392
SLV	475	0.140	2.49	0.33	1.37	1.20	164.690

È possibile calcolare i parametri sismici anche dall'applicazione web AMV, disponibile al link <http://www.mappasismica.amv.it/>.

La struttura da analizzare è una struttura intelaiata in c.a. di classe II di cui si è raggiunto un livello di conoscenza LC1 (fattore di confidenza FC = 1,35). Si eseguirà pertanto un'analisi statica lineare con fattore di comportamento q come indicato nella Circolare 2019 Tabella C8.5.IV e paragrafo C8.7.2.2.1.. In questo caso non è ammesso di procedere con un'analisi non lineare, per la quale è necessario almeno un LC2.

Fig. 2 - Tabella C8.5.IV, Circolare 2019.

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>indagini limitate</i> in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>prove limitate</i> in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2		Elaborati progettuali incompleti con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini estese</i> in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con <i>prove limitate</i> in situ; in alternativa da <i>prove estese</i> in situ	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini esaustive</i> in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con <i>prove estese</i> in situ; in alternativa da <i>prove esaustive</i> in situ	Tutti	1,00

(*) A meno delle ulteriori precisazioni già fornite nel § C8.5.4.

1.1 Parametri generali per l'analisi FEM

Illustriamo brevemente i **parametri generali del modello in MasterSap** (Fig. 3):

- *Analisi Sismica statica equivalente*, calcolo *Lineare*, secondo la Normativa *NTC 2018*;
- *Opzione Edificio esistente* permette di ridurre il tempo di ritorno del sisma in modo tale da individuare quale sia la capacità della struttura nei confronti dell'azione sismica (valutazione sismica);

- Opzione *Includi analisi per meccanismi fragili (C.A.)* nel caso delle strutture in c.a. i fattori di comportamento per le verifiche (duttile e fragili) possono essere diversi, da cui la necessità di differenziare le sollecitazioni da sottoporre alle due verifiche;
- Non si sceglie l'opzione *Spettro sismico locale* perché non è stata imposta un'analisi della risposta sismica locale.

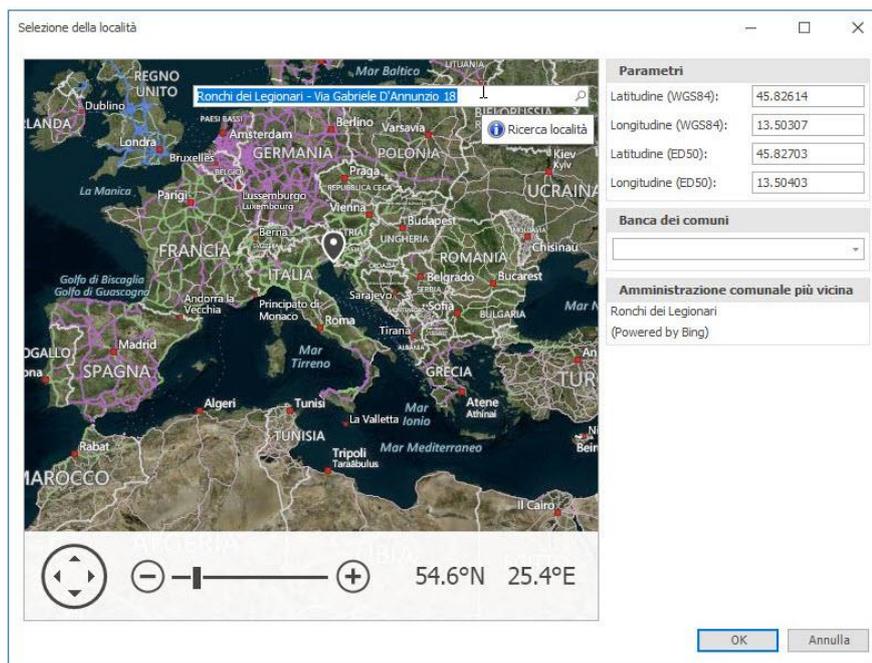
Fig. 3 - Scheda di input delle proprietà del progetto

Come detto all'inizio, è necessario analizzare i due spettri SLV ed SLD, quindi vanno selezionati nella scheda Normativa (Fig. 4), saranno gli spettri per i quali si procederà con analisi e verifiche del caso.

La località (coordinate) dove si è ipotizzato sorgesse l'edificio è stata inserita nella scheda entrando nello strumento Mappa (Fig. 5), in questo modo vengono determinate le coordinate del sito, grazie alle quali nelle schede successive si definiscono i parametri sismici dei vari spettri.

Fig. 4 - Scheda di input delle proprietà del progetto, Normativa (MasterSap 2020)

Fig. 5 - Mappa per la definizione delle coordinate del sito.



1.1.1 Fondazioni

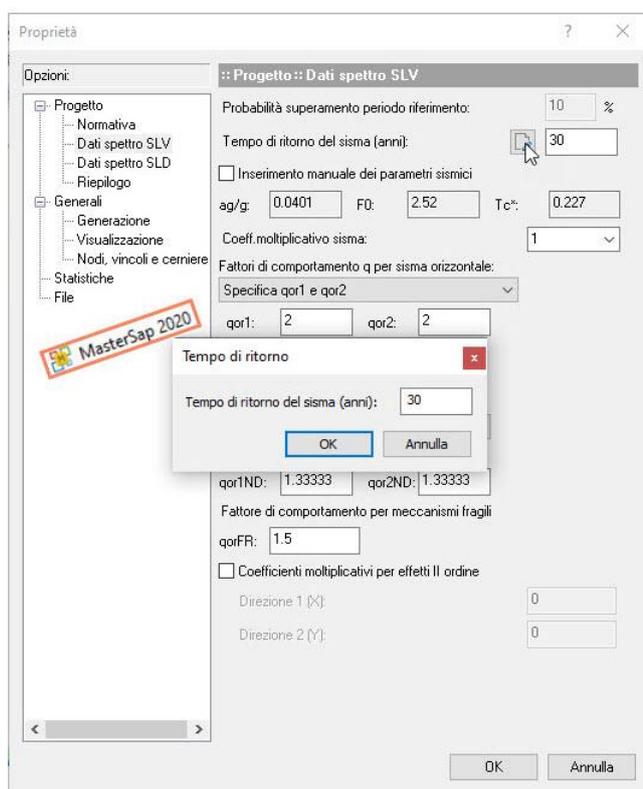
Per quanto riguarda il **sistema fondale** le NTC 2018 (paragrafo 8.3) hanno introdotto una novità sostanziale per cui la verifica è obbligatoria solo se vi sono fenomeni di instabilità globale oppure se vi sono cedimenti in fondazione, fenomeni di ribaltamento, scorrimento o fenomeni di liquefazione. Per verificare queste condizioni si potrà omettere di svolgere indagini specifiche solo se si hanno sufficienti elementi di conoscenza sul terreno e sulle fondazioni.

In questo caso di studio è stato valutato, attraverso adeguati rilievi, che non sussiste nessuno dei casi per i quali la norma impone la verifica. Inoltre, è stato valutato che omettere le fondazioni dal modello è un'ipotesi che ci pone in favore di sicurezza per quanto riguarda la valutazione sismica della struttura in elevazione. Si omette quindi la spunta per lo spettro *Fondazioni* nella scheda *Normativa* (Fig. 4).

1.1.2 Spettri di analisi

Nelle schede successive si scelgono i parametri che determinano i vari spettri, tante schede quanti gli spettri scelti nella scheda "Normativa" (Fig. 4). Nel caso di *Edificio esistente* il parametro che governa la definizione dello spettro (a_g/g , F_0 e T_c) è il **Tempo di ritorno del sisma**. In queste schede (come in Fig. 6) si dà in input il **Fattore di comportamento per il sisma orizzontale** e anche di altri fattori di comportamento, a seconda delle scelte fatte in precedenza, che verranno utilizzati per determinare gli spettri sismici per le analisi e le specifiche verifiche di ciascun caso (ad esempio differenziando il fattore di comportamento per le verifiche duttili e fragili). Gli spettri che verranno analizzati per il caso in esame saranno: **SLV** per le verifiche di Resistenza ed **SLD** per le verifiche di Rigidezza, queste ultime richieste per la valutazione della classe di rischio sismico secondo le *Linee guida 2017*.

Fig. 6 - Scheda di input delle proprietà del progetto, Dati spettro SLV. (MasterSap 2020)



1.1.3 Fattori di comportamento per meccanismi duttili e meccanismi fragili

FASE 0 – Definizione dei parametri di analisi

La normativa ipotizza che la progettazione dell'edificio esistente non sia stata eseguita *in capacità*, ossia secondo i principi di gerarchia delle resistenze, e che quindi non c'è stata una distinzione gerarchica tra elementi duttili (le travi) ed elementi con bassa duttilità (i pilastri). In base a tale assunto ne consegue che non è possibile stabilire a priori quali saranno gli elementi per i quali saranno maggiori le richieste in termini di deformazione flessionale e quali in termini di azione tagliante, pertanto **tutti gli elementi strutturali dovranno essere verificati per entrambe le tipologie, meccanismi "duttili" e "fragili"**.

Per quel che riguarda il valore del fattore di comportamento, la Circolare 2019 al paragrafo C8.7.2.2.1 indica:

- per i meccanismi duttili compreso tra i valori di 1,5 e 3,0
- per i meccanismi fragili pari a 1,5.

1.1.4 Riepilogo dei parametri di calcolo

- Analisi: Sismica statica equivalente
- Normativa: NTC 2018
 - Edificio esistente
 - Includi analisi per meccanismi fragili (CA)
- Località: Ronchi dei Legionari; Coordinate (definite dall'applicativo e modificabili)
- Categoria del suolo: B
- Coefficiente topografico: 1,0
- Eccentricità accidentale: 5%
- **Spettro SLV**

- $T_r = 30$ anni: in funzione del quale sono definiti i parametri dello spettro SLV: a_g/g , F_0 e T_c , quindi dell'accelerazione al suolo $a_g \cdot S$ con cui si determina l'indicatore ζ_E
- Fattore di comportamento per sisma orizzontale $q=2,0$ (C8.7.2.2.1)
Struttura torsionalmente deformabile, il fattore di comportamento è definito secondo la Tab. 7.3.II delle NTC 2018, il controllo sulla deformabilità torsionale della struttura modellata è eseguibile attraverso lo strumento *Controllo della deformabilità torsionale* da menu Analisi (<https://www.youtube.com/watch?v=TcTry3aFE4U>). Ricordiamo inoltre che la Circolare 2019 propone un metodo alternativo, valido per strutture in cui i modi traslazionali e torsionale siano disaccoppiati, tale metodo definisce una struttura deformabile torsionalmente quando il rapporto tra il periodo traslazionale e quello torsionale è minore di 1,0, si veda l'equazione [C7.4.2] della Circolare.
- Fattore di comportamento per struttura Non Dissipativa è un dato che si valorizza e utilizza solo nel caso in cui vi sia una progettazione di strutture nuove (es. ampliamento, sopraelevazione). In questo caso quindi non è significativo.
- Fattore di comportamento per meccanismi fragili $q_{FR} = 1,5$ (C8.7.2.2.1)
- **Spettro SLD**
 - $T_r = 50$ anni: in funzione del quale sono definiti i parametri dello spettro SLD: a_g/g , F_0 e T_c , quindi dell'accelerazione al suolo $a_g \cdot S$ con cui si determina l'indicatore ζ_E
 - Fattore di comportamento per sisma orizzontale $q=1,33$ (paragrafo 7.3.1 NTC 2018)

Ricordiamo che, qualora l'ente competente sul territorio lo preveda, è possibile che si debba utilizzare per l'analisi FEM uno spettro derivante dallo studio della Risposta Sismica Locale – cosiddetto “Spettro sismico locale” (<https://www.youtube.com/watch?v=XnE-RilOmmQ>). In tal caso la procedura prevede la possibilità di inserire per punti tale spettro, dopo aver attivato l'apposita opzione nella proprietà del Progetto (Fig. 3): Proprietà da menu Modifica in MasterSap.

1.2 Modellazione della struttura

Le fasi conoscitive della struttura (geometria e dettagli costruttivi) consentono così di definire il modello, vediamo qui di seguito i passaggi da effettuare con MasterSap.

FASE 1 – MODELLAZIONE

1. Modellazione della geometria e dei materiali della struttura in MasterSap.
2. Inserimento delle armature esistenti (funzionali alle verifiche allo SLU – FASI 4, 5 e 6):
 - a. in questo caso le armature sono state lette dai disegni esecutivi e modellate attraverso gli strumenti di *Gestione armature esistenti* da menu *Elementi*. L'armatura è stata definita numericamente per tutti gli elementi, travi e pilastri, poiché non vi erano situazioni che necessitavano un dettaglio più accurato (Fig. 7).
Per configurazioni particolari è possibile dettagliare l'armatura con lo strumento “**Inserisci/Modifica armatura grafica**” (<https://www.youtube.com/watch?v=5xC396N3p6w>, https://www.youtube.com/watch?v=h3dYQXUn_Zw), per disposizioni standard si utilizza l'input numerico “**Inserisci/Modifica armatura numerica**” (<https://www.youtube.com/watch?v=aa4gD-2hemU>), inoltre possibile utilizzare lo strumento di copia che trasferisce, anche parzialmente, i dati delle armature esistenti (dell'armatura e/o del copriferro) da un elemento a uno o più elementi selezionati
 - b. in altri casi è necessario eseguire, come la normativa prevede, un progetto simulato (<https://youtu.be/aa4gD-2hemU?t=65>)
 - c. Inserimento dei carichi e delle combinazioni di carico come da NTC 2018 (valutare l'adozione di un γ_G diverso per i carichi permanenti nella combinazione SLU – come indicato meglio in seguito).

Fig. 7 - Modellazione della geometria della struttura intelaiata in c.a.



Fig. 8 - Modellazione della geometria della struttura intelaiata in c.a. (sezioni degli elementi).

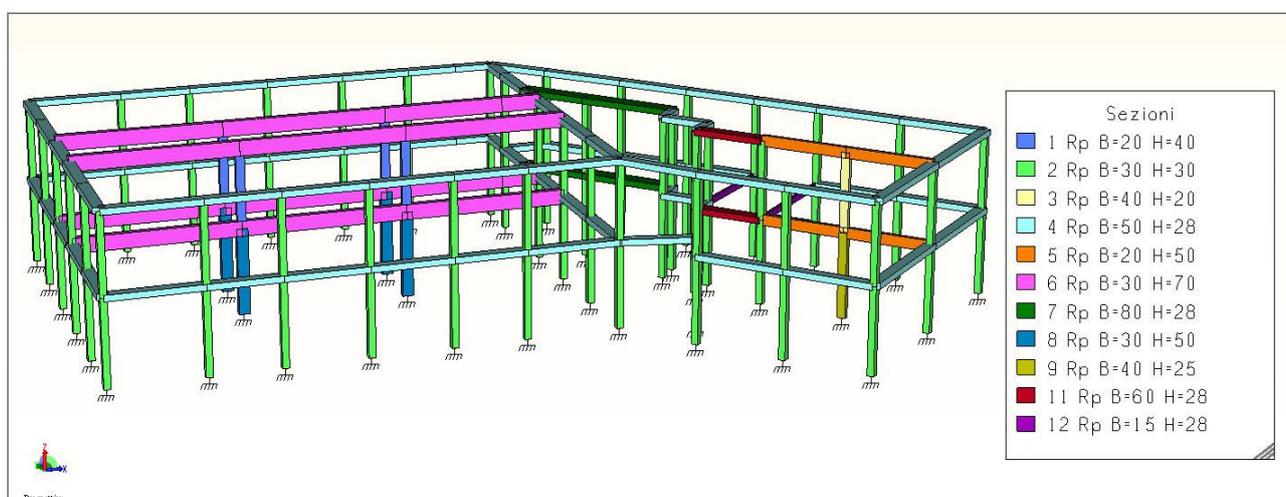
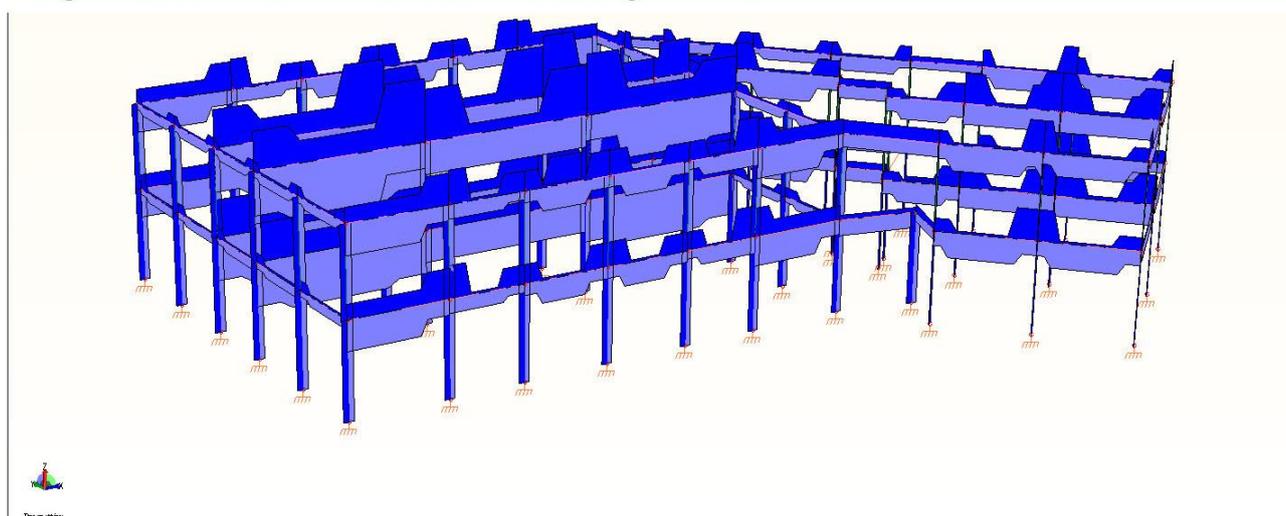


Fig. 9 - Modellazione delle armature esistenti degli elementi in c.a.



1.3 Azioni e combinazioni di carico

Al paragrafo 8.3 delle NTC 2018 è specificata l'entità dei carichi gravitazionali da adottare e, **in presenza di azioni sismiche**, la quantificazione di queste ultime deve seguire quanto indicato al paragrafo 2.4 delle NTC relativamente a vita nominale (V_N), classe d'uso e periodo di riferimento per l'azione sismica (V_R). **Le azioni e le combinazioni** che dovranno essere considerate nell'analisi sono le stesse previste per edifici nuovi.

La normativa tuttavia **consente**, nel caso di edifici esistenti, l'**adozione di coefficienti parziali** dei carichi permanenti diversi da quanto specificato per gli edifici nuovi.

Citiamo il paragrafo 8.3 delle NTC 2018: *“Nelle verifiche rispetto alle azioni sismiche (...) l'entità delle altre azioni contemporaneamente presenti è la stessa assunta per le nuove costruzioni, salvo quanto emerso riguardo ai carichi verticali permanenti a seguito delle indagini condotte (di cui al § 8.5.5) e salvo l'eventuale adozione di appositi provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e, conseguentemente, sui carichi verticali variabili.”*

Inoltre il paragrafo 8.5.5 precisa: *“Per i carichi permanenti, un accurato rilievo geometrico-strutturale e dei materiali potrà consentire di adottare coefficienti parziali modificati, assegnando a γ_G valori esplicitamente motivati. I valori di progetto delle altre azioni saranno quelli previsti dalla presente norma.”*

Più è accurata la conoscenza della struttura, più le norme consentono di assumere coefficienti di sicurezza meno gravosi, aspetto molto condivisibile.

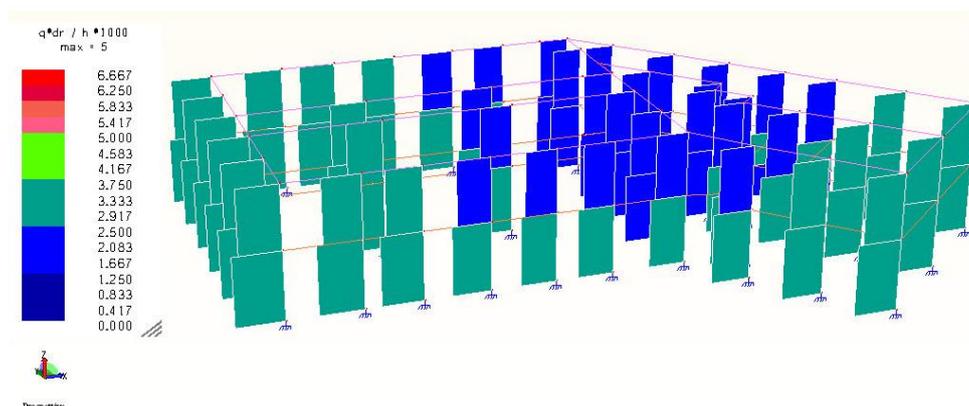
1.4 Analisi e verifiche SLD - rigidezza

La verifica allo Stato Limite di Danno, come detto, è funzionale alla sola **valutazione della classe di rischio sismico**. Le verifiche richieste sono in termini di Rigidezza e sono illustrate al paragrafo 7.3.6.1 delle NTC 2018.

FASE 2 – Valutazione della capacità allo SLD

1. Si esegue l'analisi allo SLD.
2. In ambiente Struttura, entro MasterSap, si richiede la Rappresentazione (e la stampa del tabulato) della Deformabilità relativa (Fig. 10), che offre la grafica dei diversi controlli disposti dalle NTC 2018, in questo caso il controllo è definito dalla Si perviene quindi a questo risultato: la struttura verifica, ovvero rientra nel range definito dalla [7.3.11a].
3. La capacità della struttura è pari alla domanda, infatti con T_r pari a 50 anni il controllo della deformabilità è soddisfatto per ogni elevazione.

Fig. 10 - VERIFICHE DI RIGIDEZZA (RIG): Rappresentazione grafica della Deformabilità relativa $T_r=50$ anni - [7.3.11a] NTC 2018.



4. Si determina l'indicatore la PGA di capacità allo SLD:
 - $S = S_S S_T = 1,2$
 - $PGA_{SLD.D} = 62,392$ domanda ($T_r = 50$ anni)
 - $PGA_{SLD.C} = 62,392$ capacità ($T_r = 50$ anni)

1.5 Analisi e verifiche SLV - resistenza

In caso di analisi statica lineare con fattore di comportamento, le verifiche allo SLV i sono in termini di resistenza. Esse si eseguono con gli strumenti nel post-processor dedicato alle strutture esistenti intelaiate in c.a.: **MasterEsist**. In questa fase entrano in gioco le informazioni relative alle caratteristiche meccaniche

di **resistenza dei materiali** e i **quantitativi di armature esistenti**, che definiranno la capacità degli elementi nelle verifiche allo SLU dei meccanismi duttili e fragili.

Dopo aver modellato e analizzato la struttura in MasterSap allo SLV è necessario quindi entrare nel post-processore **MasterEsist** in cui si svolgeranno le verifiche di resistenza previste per lo stato limite di salvaguardia della vita.

FASE 3 – Definizione dei parametri di verifica in MasterEsist

Da menu MasterEsist si accede alle Tabelle di verifica e si definiscono i dati **per Travi e Pilastri**:

1. la **classe di materiali** congruente con i risultati della fase conoscitiva (R_{cm} , γ_C , α_{cc} , f_{ym} , γ_S)
 $R_{cm} = 346 \text{ daN/cm}^2$, $f_{ym} = 3600 \text{ daN/cm}^2$;
2. il **fattore di confidenza** congruente con la fase conoscitiva: $FC = 1,35$ per LC1;
3. l'**opzione che determina il valore di resistenza a taglio** che dovrà essere l'Opzione 2, secondo cui $VR_d = \min(VR_{sd}, VR_{cd})$. È l'unica opzione applicabile ad oggi secondo norma, diversamente dalle norme previgenti che lasciavano più spazio all'interpretazione del progettista.
4. **NOTA**: è opportuno porre attenzione e affinare anche altre opzioni quali, ad esempio, lo spuntamento, che in fase di verifica possono produrre risultati più 'favorevoli' senza peraltro sminuire il valore del risultato.

Per la valutazione della sicurezza dell'edificio, come detto all'inizio, sarà necessario suddividere l'analisi per esaminare separatamente la sicurezza statica, ossia dei soli carichi gravitazionali, e la sicurezza sismica, ossia in presenza di azione sismica.

1.5.1 Verifiche per la valutazione della sicurezza statica

Illustriamo i passi del procedimento necessario per valutare dal punto di vista statico la struttura modellata e gli eventuali metodi previsti dalle norme per un l'adeguamento statico.

FASE 4 – Valutazione ai soli carichi gravitazionali

1. Si esegue l'analisi allo SLV.
2. Si abilitano le sole combinazioni NON sismiche (per i post-processori).
3. Si entra nel post-processore MasterEsist e si eseguono le verifiche dei meccanismi duttili e fragili, in questa fase non sarà necessario verificare i nodi poiché tale verifica è richiesta solo nei casi sismici.
4. A questo punto potremmo trovarci dinnanzi a due situazioni:
 - a. tutti gli elementi sono verificati: si procede alla valutazione sismica dell'edificio;
 - b. alcuni elementi sono non verificati: si valutano le possibilità previste dalla norma per giungere a un livello di sicurezza statica accettabile.

Nel primo caso 4.a. avremo un edificio sismicamente adeguato alle NTC 2018, nel secondo caso 4.b. il progettista di trova dinnanzi a un ventaglio di possibilità entro cui potrà esercitare le sue scelte progettuali. Sarà infatti opportuno valutare cosa indica la norma in questi casi, ad esempio soffermandosi ad approfondire il passaggio della Circolare al paragrafo C2.1 riportato in Fig. 11.

Fig. 11 - Dal paragrafo C2.1 della Circolare: livelli di sicurezza per gli edifici esistenti valutando i soli carichi NON sismici.

Per le opere esistenti, rimandando per maggiori dettagli al Capitolo 8, si precisa che è possibile fare riferimento a livelli di sicurezza diversi da quelli delle nuove opere ed è anche possibile considerare solo gli stati limite ultimi, prescindendo dagli stati limite di servizio.

Al proposito, è necessario osservare che in pratica possono presentarsi casistiche molto diverse, e che occorre distinguere gli effetti delle azioni sismiche da quelli delle azioni non sismiche. Le diverse casistiche che possono presentarsi nella pratica sono sostanzialmente riconducibili alle seguenti:

- costruzioni soddisfacenti i livelli di sicurezza previsti da norme previgenti per azioni ambientali non sismiche, nelle quali i livelli di sicurezza si riducano al disotto dei limiti ammessi per effetto di modifiche normative dei valori delle azioni (quali, ad esempio, aumento del carico neve, modifica dell'azione del vento ecc.) o delle modalità di verifica (es: valutazione del taglio resistente negli elementi strutturali di c.a., ecc.);
- costruzioni non soddisfacenti i livelli di sicurezza previsti da norme, sia previgenti, sia in vigore, per azioni non sismiche di origine gravitazionale;
- costruzioni non soddisfacenti i livelli di sicurezza previsti da norme, sia previgenti, sia in vigore, per azioni non sismiche agenti in direzione orizzontale;
- costruzioni non soddisfacenti i livelli di sicurezza previsti da norme, sia previgenti, sia in vigore, per azioni sismiche.

Nel caso a) se il livello di sicurezza attuale può essere considerato accettabile, non è necessario intervenire; nel caso b) è necessario intervenire, conformando i carichi gravitazionali nelle zone oggetto di intervento a quelli previsti dalle NTC, con le modalità indicate nel Capitolo 8; nei casi c) e d) si deve operare, in accordo con quanto previsto nel Capitolo 8, in funzione della classificazione dell'intervento. Si segnala che nei casi c) e d) l'intervento è necessario soltanto quando si ricada in una delle tre categorie d'intervento previste nel Capitolo 8 delle norme: intervento locale o riparazione, miglioramento, adeguamento.

Livello di sicurezza statica adeguato alla norma previgente e per questo considerato accettabile

In base alle definizioni sottolineate nel paragrafo sopra citato (Fig. 11) è stata quindi indagata una combinazione di carico con sole azioni NON sismiche in cui i **coefficienti parziali sono stati definiti unitari**, come da normative previgenti (Fig. 12). I valori delle azioni sono stati mantenuti come indicato nelle NTC 2018, alcuni maggiori di quanto le norme previgenti disponessero (è il caso del carico da neve). In base a una valutazione dei carichi presenti, valutabili e ben definiti, sulla struttura esistente in esame, è stato considerato quindi accettabile il livello di sicurezza per la combinazione di carico come da norma previgente.

Il progettista in questi casi può valutare di stabilire una prescrizione d'uso definendo, ad esempio nel fascicolo del fabbricato, delle regole mirate a evitare un incremento sulla struttura dei carichi gravitazionali, quindi regole relative a variazioni dei materiali di rivestimento, della pavimentazione, degli arredi fissi, delle tramezzature.

Fig. 12 - Coefficienti parziali secondo D.M. 92

Banca dei coefficienti parziali

Normativa: DM 14/02/1992 T.A. (statico) DM 16/01/1996 (sismico)

Tipo di azione	Categoria	YG	YQ
► Permanente	Peso Proprio		1
	Permanente portato		1
Variabile	Domestici e residenziali		1
	Uffici		1
	Aree di acquisto e congresso		1
	Magazzini		1
	Autorimesse		1
	Neve		1
	Vento		1

OK Annulla

Intervento di adeguamento statico

In alternativa il progettista potrebbe sempre mettere in atto un sistema di rinforzo sugli elementi deficitari per raggiungere l'**adeguamento statico** della struttura alla normativa vigente. In questo caso si procederà analogamente a come sarà descritto successivamente per gli interventi di rinforzo con fini "sismici".

1.5.2 Verifiche per la valutazione della sicurezza sismica

In questa fase progettuale si dovrà individuare il tempo di ritorno dell'azione sismica che la struttura è in grado di 'sostenere', così si determina la capacità della struttura in termini di accelerazione al suolo

$$PGA_{SLV.C} = a_g \cdot S.$$

FASE 5 – Valutazione rispetto alle azioni sismiche

L'analisi allo SLV è stata eseguita nella Fase precedente.

1. Si abilitano tutte le combinazioni sismiche (per i post-processor).
2. Si entra nel post-processore MasterEsis e si eseguono le verifiche:
 - a. meccanismi duttili per travi e pilastri;
 - b. meccanismi fragili per travi e pilastri;
 - c. nodi (meccanismi fragili).
3. Si individua l'azione sismica per cui almeno un meccanismo non verifica e si determina la PGA di capacità allo SLV:
 - $PGA_{SLV.C} = 47,206$ capacità (Tr = 30 anni) *.
 - $PGA_{SLV.D} = 164,690$ domanda (Tr = 475 anni).
 - $\zeta_E = 0,287$

NOTA per la classificazione del rischio sismico

L'edificio **non** risulta ancora verificato con Tr pari a 30 anni, minimo previsto dalle NTC 2018. Pertanto, è ammesso scendere con Tr al di sotto dei 30 anni, fino a un minimo di 10 anni, solo al fine della classificazione del rischio sismico: scalando proporzionalmente lo spettro associato al periodo di ritorno di 30 anni. È indicato nelle *Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni* Allegato A al D.M. 07.03.2017.

Si procede, quindi, in tal senso e si individua una capacità definita dal Tr pari a 10 anni. Nelle proprietà del modello sarà necessario scegliere "Inserimento manuale dei parametri sismici" e procedere con l'input manuale di a_g/g ricavato come indicato nelle Linee guida, per interpolazione lineare.

- $PGA_{SLV.C} = 15,735$ capacità (Tr = 10 anni) **.
- $PGA_{SLV.D} = 164,690$ domanda (Tr = 475 anni).
- $\zeta_E = 0,096$

Nel dettaglio, la struttura presenta un deficit di sicurezza sismica individuato dalle seguenti verifiche:

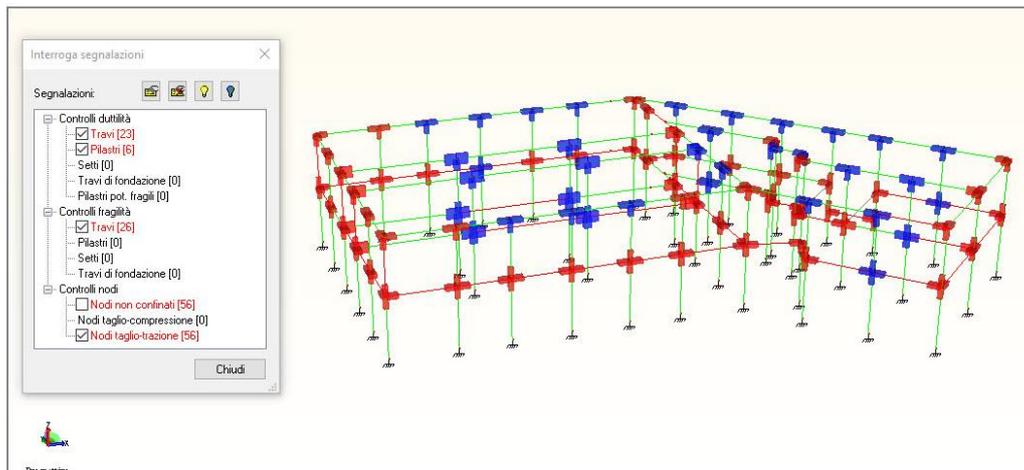
* al tempo di ritorno di 30 anni

- non superano le verifiche duttili 23 travi e 6 pilastri;
- non superano le verifiche fragili 26 travi;
- non verificano a taglio-trazione 56 nodi.

** al tempo di ritorno di 10 anni

- non superano le verifiche duttili 3 travi e 1 pilastro;
- non superano le verifiche fragili 13 travi;
- non verificano a taglio-trazione 66 nodi.

Fig. 13 - Elementi non verificati Tr 30 anni (meccanismi duttili, fragili e nodi).



1.6 Asseverazione della classe di rischio sismico dello stato di fatto

Con SismaClass

I risultati fin qui ricavati sono i dati necessari e sufficienti per calcolare la Classe di rischio sismico attraverso l'applicazione gratuita della Collana AMV **SismaClass** (scaricabile al link <http://www.amv.it/prodotti/sismaclass>), con cui si produce l'asseverazione secondo l'articolo 3 comma 2 del decreto ministeriale MIT n° 58 dd. 28/02/2017.

La procedura scheda dopo scheda guida l'utente all'input con cui si ricavano i parametri:

- la Perdita Annuale Media attesa (PAM) e della relativa Classe,
- l'indice di sicurezza IS-V e della relativa Classe.

La classe minore tra le due sarà la classe della struttura.

La procedura SismaClass è illustrata nel video qui accessibile <https://youtu.be/-4ACdALFk8>.

Fig. 14 - Asseverazione della Classe di Rischio sismico dello Stato di Fatto della costruzione: sintesi conclusiva.

Perdita Annuale Media attesa (PAM)	Classe PAM	Indice di sicurezza (IS-V)	Classe IS-V
PAM ≤ 0.50 %	A+	IS-V > 100%	A+
0.50% < PAM ≤ 1.0 %	A	80% < IS-V ≤ 100 %	A
1.0% < PAM ≤ 1.5 %	B	60% < IS-V ≤ 80 %	B
1.5% < PAM ≤ 2.5 %	C	45% < IS-V ≤ 60 %	C
2.5% < PAM ≤ 3.5 %	D	30% < IS-V ≤ 45 %	D
3.5% < PAM ≤ 4.5 %	E	15% < IS-V ≤ 30 %	E
4.5% < PAM ≤ 7.5 %	F	IS-V ≤ 15 %	F
PAM > 7.5%	G		

Pertanto la Classe PAM di questa costruzione è G_{PAM} .

Pertanto la Classe IS-V di questa costruzione è F_{IS-V} .

Calcolo indice di rischio allo stato di fatto

Si individua la Classe di Rischio della costruzione come la peggiore fra la Classe PAM e la Classe IS-V.

Pertanto alla presente costruzione corrisponde una Classe di Rischio G.



In fede

04/03/2020

Timbro e firma

2 Un'ipotesi di intervento di miglioramento sismico

Con Verifiche Rinforzi in MasterEsist e con interventi in MasterArm

A questo punto, il compito progettuale da svolgere è quello di perseguire un miglioramento, per cui è necessario leggere attentamente ciò che è riportato al paragrafo C8.4.2 della Circolare 2019. Nello spirito della norma si indica che non è necessario raggiungere l'adeguamento sismico della struttura, ma "il valore di ζ_E , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1."

Il progetto di intervento si pone l'obiettivo di raggiungere $\zeta_E = 0,4$ che garantisce un incremento maggiore di 0,1. Avremo che $PGA_{SLV,C} = PGA_{SLV,D} \cdot \zeta_E = 164,690 \cdot 0,4 = 65,876$ ed essendo $S = 1,2$ sarà $a_g/g = 0,056$ relativa a $Tr = 58$ anni

Per raggiungere il livello di sicurezza richiesto ci sono diverse opzioni, anche sovrapponibili:

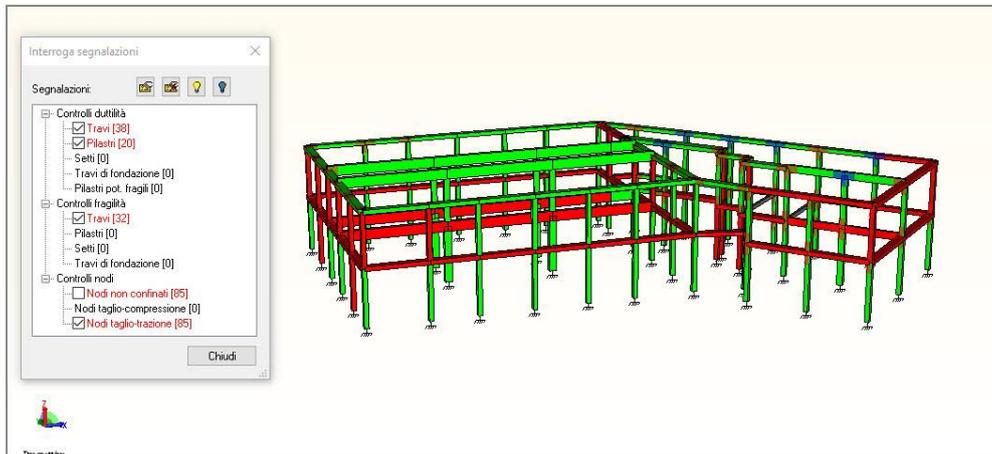
- declassamento o restrizioni d'uso: indicando quale sia il massimo sovraccarico verticale variabile sopportabile (anche limitatamente a porzioni dell'edificio);
- interventi di rinforzo:
 - o locali, che integrano il deficit di capacità sui singoli elementi strutturali;
 - che non modificano la risposta globale della struttura (FRP, Sistema CAM®, incamiciature in acciaio);
 - che modificano la risposta della globale struttura (incamiciature in FRC o in c.a.);
 - o globali, che modificano il comportamento dell'intero organismo strutturale.

Nel caso si scelgano interventi di rinforzo che modificano il comportamento strutturale, poiché si introducono variazioni delle rigidzze degli elementi strutturali, sarà necessaria una rianalisi della struttura e una successiva ri-verifica degli elementi strutturali.

Con il sisma definito al tempo di ritorno di 58 anni abbiamo (Fig. 15) che:

- non superano le verifiche duttili 38 travi e 20 pilastri;
- non superano le verifiche fragili 32 travi;
- non verificano a taglio-trazione 85 nodi.

Fig. 15 - Elementi non verificati Tr 58 anni ($\zeta_E = 0,4$).

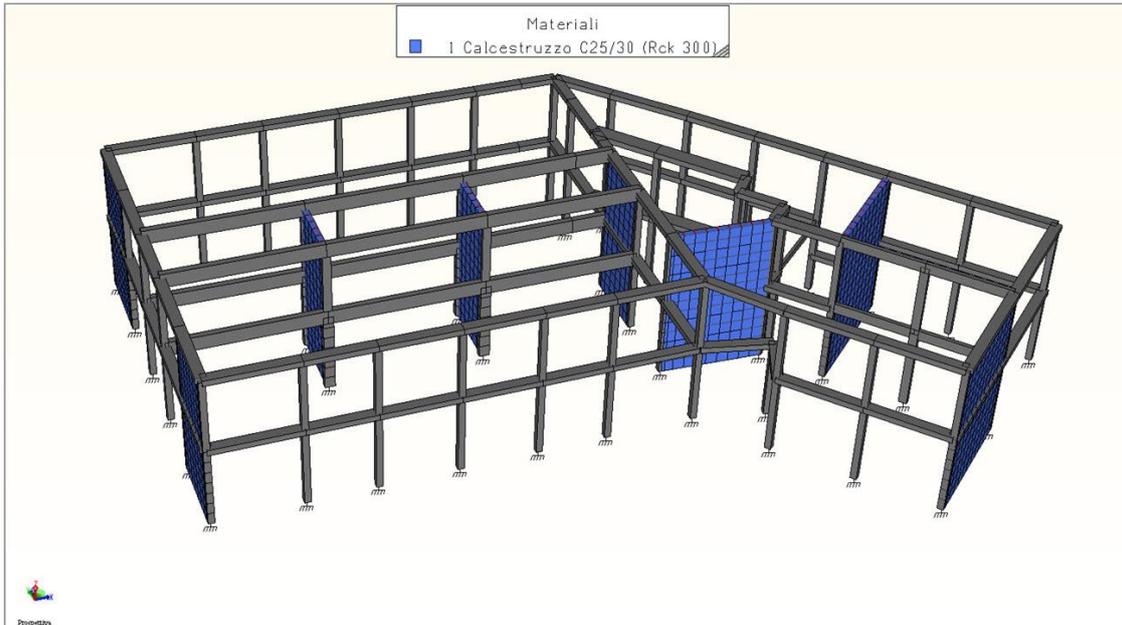


È evidente che in questo caso l'intervento dovrà necessariamente introdurre una modifica del comportamento strutturale e della sua risposta alle azioni sismiche, come ad esempio l'inserimento di strutture controventanti quali pareti in c.a., unitamente a interventi locali di rinforzo degli elementi esistenti. Non è certamente percorribile la progettazione di rinforzi locali su tutti questi elementi. La scelta delle pareti in c.a. fa sì che la struttura possa ancora essere analizzata con analisi lineare mantenendo il livello di conoscenza LC1.

L'ipotesi di intervento prevede l'inserimento di otto pareti (Fig. 16) ed è stata valutata in base al layout dell'edificio. Con questa modifica gli elementi da rinforzare sono diminuiti notevolmente, i meccanismi non verificati in questo "nuovo" organismo strutturale sono:

- duttili per 10 travi;
- fragili per 15 travi;
- fragili per 6 nodi a taglio-trazione.

Fig. 16 - Interventi di miglioramento: pareti nuove in c.a.



FASE 6 (Iterativa) – Intervento di miglioramento

Ricordiamo che allo SLD l'edificio era già adeguato e che è stato valutato in sicurezza dal punto di vista dei carichi gravitazionali. Si interviene quindi per migliorare il solo livello di sicurezza sismico.

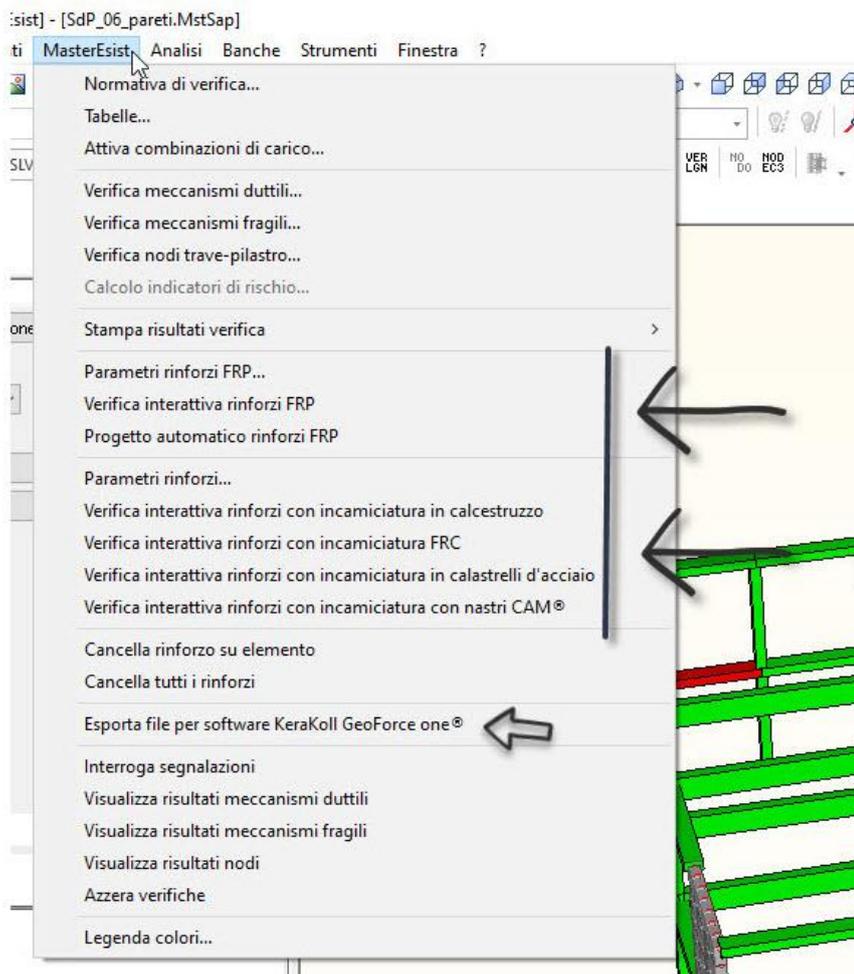
1. individuato il tempo di ritorno per cui si ottiene lo ζ_E prefissato, lo dà in input nella scheda SLV delle proprietà del progetto dove vengono calcolati automaticamente i parametri a_g/g , F_0 e T_C ;
2. si modellano gli (eventuali) elementi nuovi che si prevede possano migliorare l'organismo strutturale esistente Fig. 16;
3. si definisce quale comportamento assegnare alla struttura per dimensionare tali elementi (in questo caso NON dissipativo);
4. si esegue l'analisi FEM;
5. per gli **elementi strutturali nuovi** (pareti) si procede al loro dimensionamento in **MasterArm** secondo le regole delle NTC 2018 (ricordandoci di attivare la CC statica definita secondo la normativa vigente);
6. per gli **elementi strutturali esistenti** (travi, pilastri, nodi) si procede alla verifica in **MasterEsist**:
 - per i meccanismi che non superano le verifiche, sarà necessario intervenire con Verifiche Rinforzi e dimensionare il sistema di rinforzo scelto, da menu MasterEsist tutte le possibili scelte (Fig. 17):
 - per travi e pilastri (meccanismi duttili e fragili):
 - FRP,
 - Incamiciatura in calcestruzzo (c.a.),
 - Incamiciatura in FRC (con eventuali armature aggiuntive – Fig. 19),
 - Incamiciatura in calastrelli d'acciaio,
 - Incamiciatura con Sistema CAM®.
 - è possibile esportare anche un file per trasferire i dati necessari all'applicativo di casa KERAKOLL®, GeoForce One®, con cui si dimensionano i loro sistemi di rinforzo.
 - per nodi non confinati:
 - FRP,
 - Incamiciatura in FRC.

NOTA: quando è attiva la procedura interattiva Verifiche Rinforzi, navigando nel modello col cursore, in MasterSap nella finestra Interroga sono riportate indicazioni utili di verifiche e rinforzi in atto nei vari elementi

7. In MasterEsist il progettista dovrà valutare alcune opzioni (l'una esclude l'altra):
 - a. Se gli elementi strutturali esistenti (travi, pilastri, nodi), nonostante le migliorie introdotte, sono ancora troppo deficitari in resistenza, si riprende il procedimento dal punto 2.
 - b. Se si progettano, oltre agli elementi nuovi, anche dei rinforzi che variano la rigidezza degli elementi esistenti (Fig. 19), allora sarà necessario tornare a effettuare il procedimento dal punto 4.
 - c. Se gli elementi nuovi sono ben posti e fanno sì che gli interventi (locali) sugli elementi strutturali esistenti siano limitati e ragionevoli, sia dal punto di vista economico che tecnico ingegneristico, allora si conclude l'iter della progettazione del miglioramento sismico della struttura.

NOTA: In merito alle tecnologie per il rinforzo strutturale presenti sul mercato il progettista è tenuto a verificare la loro idoneità all'impiego, certificazione CE o altra certificazione, come indicato al paragrafo 11.1 delle NTC 2018 che illustra le generalità di **Materiali e prodotti per uso strutturale**. Ricordiamo che per consultare le certificazioni dei *Servizi Tecnici del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici* è consultabile il sito all'indirizzo <http://sicurnet2.cslp.it>

Fig. 17 - Da menu MasteEsist: sistemi di rinforzo che si possono dimensionare interattivamente.



2.1 Il progetto dei rinforzi con la Collana AMV

MasterSap 2020, in uscita a primavera, offre la possibilità di procedere con estrema efficacia al rinforzo degli elementi entro il modello globale della Struttura. Si accede a **Verifiche Rinforzi** da MasterSap, post-processore **MasterEsist**, e si progettano i rinforzi a (presso) flessione e taglio, mentre in MasterSap attraverso la grafica degli elementi (verde/rosso) si ha un riscontro immediato degli interventi e dello stato avanzamento lavori, come viene efficacemente illustrato nel video al link <https://youtu.be/4GAWu8lYyFg>. Ad esempio, se fossimo al punto 7. b., per cui è stato necessario rivalutare la risposta strutturale con una nuova analisi FEM, quando si interviene poi in MasterEsist con Verifiche Rinforzi si ha un immediato riscontro dello stato delle verifiche sugli elementi e sul progetto degli interventi di rinforzo (Fig. 18):

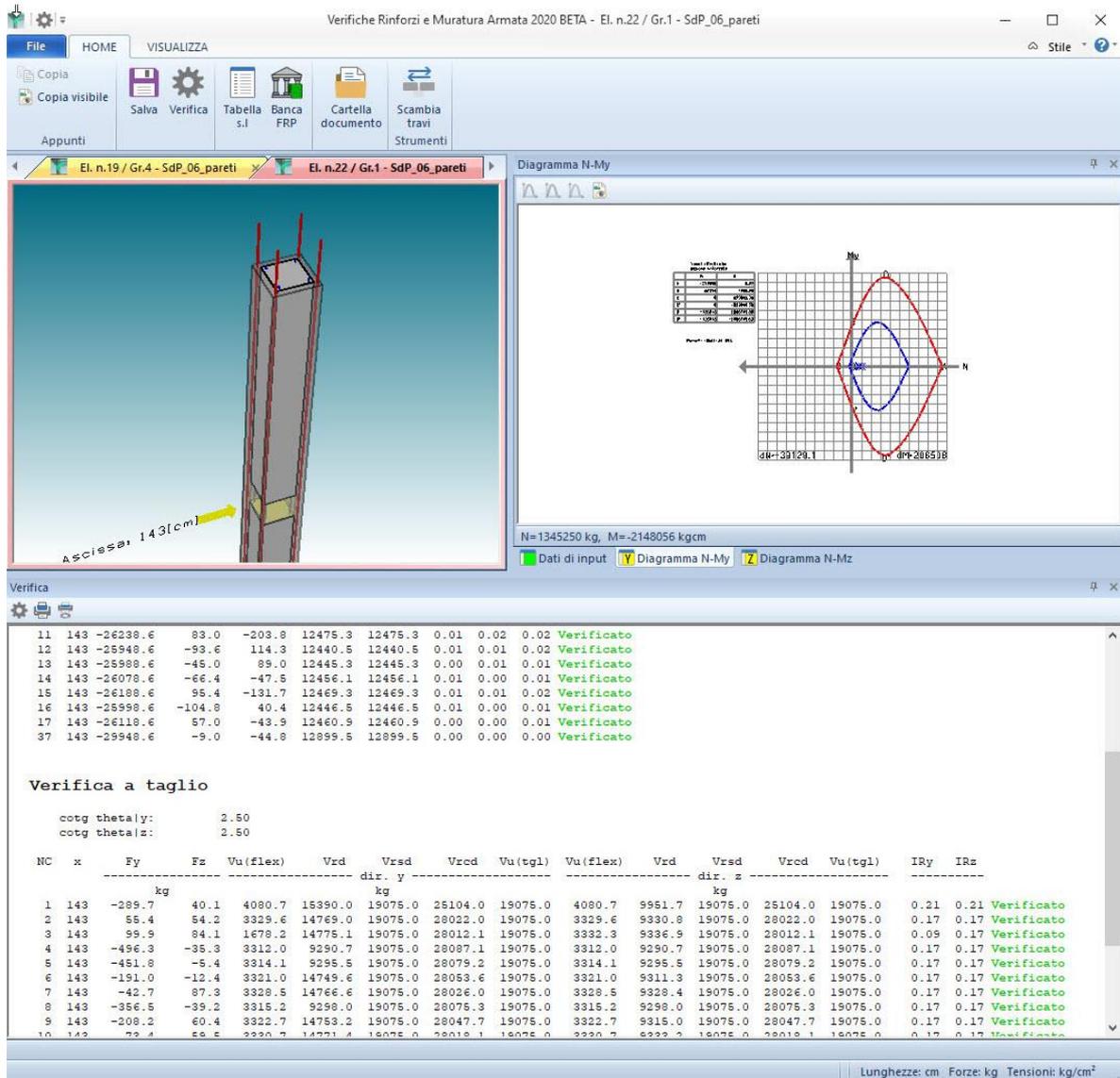
- Verde chiaro: verificato
- Rosso chiaro: non verificato
- Verde scuro: verificato con rinforzo
- Rosso tenue: con rinforzo ma non verificato
- Giallo: da riverificare in Verifiche Rinforzi per modifiche delle sollecitazioni

Fig. 18 - Verifiche Rinforzi interazione con MasterSap in MasterEsist.

The screenshot displays the MasterSap 2020 interface. On the left, a 3D model of a reinforced concrete structure is shown with elements color-coded: green for verified, red for not verified, and yellow for elements needing re-verification. A dialog box titled 'Interroga' is open, showing the status of various elements. On the right, the 'Verifiche Rinforzi e Muratura Armata 2020 BETA' window is active, showing the 'Dati di input' for a selected element. The 'Incaricatura FRP a flessione' and 'Incaricatura FRP a taglio' sections are visible, with parameters such as 'Asciutta iniziale rinforzo FRP [cm]' and 'Asciutta finale rinforzo FRP [cm]'. The 'Materiali' section lists properties for the FRP material, including 'Nome tessuto', 'Spessore a secco del tessuto per ogni direz. [mm]', and 'Modulo elastico'. The 'Verifica a pressoflessione' table is also visible at the bottom right.

Verifica	NC	x	II	My	Ms	My/Res	Ms/Res	IR	IR
	cm		kg	kgm	kgm	kgm	kgm	H, Hy	H, Hy

Fig. 18 - Verifiche Rinforzi: Esempio di incamicatura in FRC su un pilastro.



2.2 Asseverazione della classe di rischio sismico dell'edificio con intervento di miglioramento sismico

Con SismaClass

Con SismaClass è possibile compilare per via automatica la documentazione di Asseverazione della Classe di Rischio sismico anche per il progetto di miglioramento sismico. L'obiettivo che ci si è posti ha portato a migliorare di due classi il rischio sismico della struttura, che ora ha una Classe D, come in Fig. 20.

Fig. 20 - Asseverazione della Classe di Rischio sismico dello Stato di Progetto della costruzione: sintesi conclusiva.



2.3 Riflessione e cenni sul caso progettuale reale

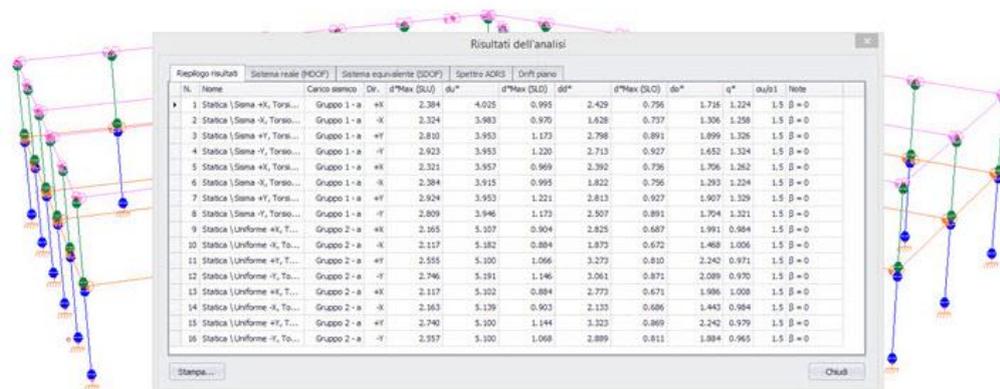
La progettazione del miglioramento sismico di una struttura dovrebbe avere tra le sue variabili anche un parametro che valuti l'efficacia, l'efficienza e l'economicità, o meglio della convenienza, dell'intervento. Come visto, in estrema sintesi, si tratta un processo progettuale iterativo la cui soluzione non è semplice o banale. In questi termini ci si potrebbe imbattere anche in una valutazione di un intervento strutturale di poca se non nulla convenienza.

La valutazione tuttavia non è mai limitata ai soli costi/benefici relativi all'organismo strutturale della costruzione. L'edificio non è solo 'struttura', ma anche attività, impianti, arredi, bene architettonico. Fattori che pongono dei paletti non trascurabili, sia alla tipologia dell'intervento implementabile, sia all'obiettivo da perseguire. Allora al tecnico progettista non resta che affrontare con tenacia l'obiettivo, cercando sempre di guardare la risposta globale della struttura alle azioni di progetto, non limitandosi all'applicazione diffusa di rinforzi su tutti quegli elementi che non superano le verifiche.

Non è certamente un'attività così banale. Si pensi a questo scenario, sempre in riferimento all'esempio di studio presentato: l'inserimento di controventi in acciaio entro alcune maglie del telaio in c.a. avrebbe ridotto il numero di elementi strutturali da sottoporre a rinforzo. Ci saremmo a questo punto imbattuti nel caso di una struttura "mista", che necessita di analisi statica non lineare (pushover) la quale a sua volta impone per le strutture esistenti un Livello di conoscenza LC2. Per una struttura esistente in c.a. passare da un livello di conoscenza LC1 a un livello LC2 non è economicamente indolore (e tanto meno strutturalmente, le prove richieste sono piuttosto invasive). Tuttavia, in questo caso, avrebbe si sarebbero ottenuti due vantaggi: la diminuzione del Fattore di Confidenza da 1,35 a 1,20 (che porta ad abbassare l'asticella nelle verifiche dei meccanismi duttili e fragili) e il netto miglioramento degli esiti delle verifiche previste sugli elementi esistenti.

Il caso di progetto reale affrontato per l'intervento di miglioramento di questa struttura ha percorso questa strada, ovvero è stato scelto di conseguire un livello di conoscenza LC2 e si è ripartiti dalla Fase 0 dell'iter di modellazione modificando la tipologia di analisi da lineare a non lineare tipo pushover, pervenendo a una riclassificazione dello stato di fatto e a una soluzione per il progetto di miglioramento sismico che ha evitato l'introduzione di pareti di controvento e ha limitato gli interventi di rinforzo locale realizzati con incamiciature in FRC su un numero ragionevole di elementi strutturali.

Fig. 21 - Livello di conoscenza LC2 - analisi pushover



Ringraziamenti

Il progetto e la modellazione sono stati studiati dal nostro Staff di ingegneri nel corso della consulenza all'Ing. Sergio Tamagnone (attivata da [servizio clienti AMV http://www.amv.it/servizi/consulenza-alla-progettazione](http://www.amv.it/servizi/consulenza-alla-progettazione)), che ringraziamo per aver concesso la pubblicazione del modello e del materiale di studio a esso connesso, sua proprietà intellettuale. Il suo progetto di intervento ha affrontato il miglioramento ($\zeta_E = 0,6$) di una struttura di Classe III ad uso scolastico.