



COMUNE DI LASCARI
CITTÀ METROPOLITANA DI PALERMO

LINEA GUIDA INDICAZIONI TECNICHE GENERALI

IL TECNICO REDATTORE

Premesse – Generalità

1- FASE A- Redazione di relazione metodologica

2- FASE B - Raccolta dati e prove

- 2.1 - Reperimento degli elaborati progettuali/atti.
- 2.2 – Rilievo strutturale
- 2.3 - Caratteristiche geomorfologiche del sito
- 2.4 - Quadro fessurativo e di degrado
- 2.5 - Determinazione dei livelli di conoscenza e della campagna di indagini
- 2.6 Indagini e prove in situ ed in laboratorio.
- 2.7 Criteri generali per l'individuazione degli elementi strutturali da indagare negli edifici in cemento armato

3- FASE C - Elaborazione dei dati raccolti - Verifiche numeriche.

3.1 Generalità.

- 3.1.1 - Verifica nei confronti dei carichi statici
- 3.1.2 - Analisi dei meccanismi locali
- 3.1.3 - Analisi dei meccanismi globali

3.2 – Criteri di riferimento per l'input sismico e per le verifiche

- 3.2.1 - Vita nominale per tipi di opere
- 3.2.2 - Classi d'uso
- 3.2.3 - Periodo di riferimento
- 3.2.4 - Stati limite e relative probabilità di superamento
- 3.2.5 - Azione sismica di riferimento
- 3.2.6 - Regolarità dell'edificio
- 3.2.7 - Fattori di confidenza
- 3.2.8 - Modellazione della struttura - Metodo di analisi e criteri di verifica
- 3.2.9 - Risultati dell'analisi: Capacità in termini di accelerazione al suolo e periodo di ritorno per diversi SL.....
- 3.2.10 - Valori di riferimento
- 3.2.11- Indicatori di rischio

3.3 - Indagini geologiche e geotecniche

- 3.3.1 - Indagini geologiche e geotecniche
- 3.3.2 - Indagini, caratterizzazione e modellazione geologica
- 3.3.3 -Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica
- 3.3.4 - Indicazione della categoria del suolo di fondazione

4- FASE D - Sintesi dei risultati.

- 4.1 - Sintesi del percorso conoscitivo
- 4.2 - Vulnerabilità riscontrate e possibili rimedi

5- Documenti e normative di riferimento

Premesse – Generalità

Il presente documento fornisce istruzioni tecniche per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza strutturale e sismica sul seguente immobile istituzionale di proprietà del Comune di Lascari:

N.	Denominazione scuola	Ubicazione	Codice meccanografico
1	Scuola Elementare M.T. Di Calcutta	Via Pirandello, n.3	PAEE81002G

I tempi massimi a base di gara assegnati per lo svolgimento delle prestazioni oggetto della procedura e la consegna della conseguente documentazione, che decorrono dalle comunicazioni da parte del RUP, sono complessivamente di 100 giorni naturali e consecutivi così articolati:

- a) consegna della relazione metodologica (fase A) **entro 30 gg** dalla comunicazione da parte del RUP della determinazione dirigenziale di affidamento del presente incarico;
- b) completamento delle restanti prestazioni previste nell'incarico (fasi B–C–D) con consegna della documentazione completa richiesta su supporto cartaceo e digitale **entro 70 gg** dalla comunicazione da parte del RUP di approvazione della relazione metodologica;

Nei tempi di cui sopra sono comprese tutte le attività che competono al professionista incaricato del presente incarico nonché il tempo a disposizione del committente stimato in dieci giorni per decidere su eventuali scelte da adottare in merito agli esiti di approfondimento dell'analisi oltre l'attivazione del primo meccanismo, richiesto nella linea guida generali al paragrafo 3.2.9.

La Stazione appaltante, per l'espletamento dell'incarico, metterà a disposizione dell'operatore economico aggiudicatario i dati informativi, geometrici, la documentazione e gli elaborati disponibili agli atti del Comune. Tale documentazione dovrà essere verificata a cura e spesa del professionista e nulla potrà pretendere dal committente nel caso di non rispondenza alla situazione reale o di carenza di documentazione.

Il quadro normativo di riferimento è composto dal DM 17 gennaio 2018 "*Norme tecniche per le costruzioni*" e s.m.i., la Circolare 2 febbraio 2009 n.617, per le parti non in contrasto con il DM 17 gennaio 2018, Ordinanza Presidente Consiglio dei Ministri 3274, 3431,3362, Normativa Regione Sicilia, il D.P.R. 6 giugno 2001 n. 380.

Le verifiche andranno svolte tenendo conto le unità strutturali e dovranno essere precedute da una valutazione strutturale complessiva dell'aggregato e delle possibili interazioni tra edifici adiacenti.

In relazione a tale esigenza l'aggregato e l'edificio possono essere così definiti:

- l'aggregato strutturale è costituito da un insieme di elementi strutturali non omogenei e che possono interagire sotto un'azione sismica (o dinamica in genere). Un aggregato strutturale può essere costituito da uno o più edifici accorpati e, per accorpamento, si deve intendere un contatto, o un collegamento, più o meno efficace tra edifici con caratteristiche costruttive generalmente diverse.

La presenza di un giunto di separazione, ove ritenuto efficace ai fini sismici, dà luogo alla individuazione di due aggregati strutturali ben distinti; all'interno degli aggregati strutturali si individuano gli edifici, definiti come unità strutturali omogenee da cielo a terra e, in genere, distinguibili dagli altri adiacenti per almeno una delle seguenti caratteristiche che individua un comportamento dinamico distinto:

- tipologia costruttiva;
- differenza di altezza;
- irregolarità planimetrica con parti non collegate efficacemente;
- età di costruzione;

- sfalsamento dei piani;
- talvolta, ristrutturazioni da cielo a terra.

Le attività di verifica oggetto dell'incarico, come indicato dal contratto, si articolano in quattro fasi; di seguito si forniscono alcune Linee guida che costituiscono parte integrante del contratto.

1 - FASE A - Redazione di "Relazione metodologica"

Contiene l'individuazione degli organismi strutturali e le fasi attuative delle verifiche tecniche, comprendendo in particolare:

- a) la relazione descrittiva dei livelli di acquisizione dei dati e di verifica, in relazione al livello di conoscenza della struttura oggetto di indagine richiesto, delle modalità e dei documenti disponibili o da acquisire per l'esecuzione del rilievo di dettaglio strutturale;
- b) l'ipotesi preliminare e sommaria dell'indicazione e della definizione delle campagne di indagini diagnostiche necessarie per accertare le caratteristiche di resistenza dei materiali esistenti e le caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione;
- c) le modellazioni numeriche, la tipologia di analisi strutturale e le procedure che si intendono adottare per la definizione dei livelli di sicurezza, nonché, la definizione dei valori di accelerazione al suolo corrispondenti agli stati limite definiti dalle norme tecniche vigenti e dei loro rapporti con le accelerazioni attese.

La "relazione metodologica" dovrà inoltre evidenziare, un piano per rilievi, saggi, indagini geologiche che dovranno essere svolti da un geologo abilitato, individuato nella struttura operativa sin dalla manifestazione di interesse così come prescritto al punto 4 dell'Avviso pubblico.

Dovranno essere descritte, anche in senso temporale, le procedure e le modalità qualitative e quantitative che si intendono adottare per la valutazione della sicurezza sismica e della capacità di resistenza della struttura esistente alle combinazioni delle azioni di progetto previste dalla normativa, seguendo lo schema per fasi di cui ai paragrafi successivi.

Nella "relazione metodologica" verranno evidenziate circostanze particolari che incidano sull'eventuale modifica della scelta di elementi che abbia rilievo sull'input sismico.

A seguito dell'andamento delle attività e dei risultati che si otterranno, quanto preliminarmente previsto nella "Relazione metodologica", potrà e dovrà essere modificato solo con le modalità e nei casi previsti nei successivi articoli.

Le attività indispensabili che dovranno essere svolte dal Professionista prima della redazione della "relazione metodologica" sono:

- esame della documentazione messa a disposizione dall'Ente e recupero, presso l'archivio comunale del Comune e dei vari enti (Archivi storici - ex Genio Civile, Prefettura, etc.) della documentazione progettuale mancante, se esistente;
- identificazione della normativa vigente all'epoca della costruzione, se esistente;
- sopralluoghi volti alla identificazione della struttura in fondazione ed in elevazione;
- individuazione delle vulnerabilità non quantificabili numericamente;
- rilievo strutturale di massima propedeutico alla relazione metodologica.

Nella relazione bisogna anche elencare gli elementi non strutturali di cui si procederà al rilevamento della vulnerabilità in conformità alla Linea Guida del Consiglio Superiore dei Lavori pubblici del 2009.

2 - FASE B - Raccolta dati e prove

Questa fase prevede:

- a) acquisizione di atti e documenti necessari per la ricostruzione storico-strutturale del manufatto oggetto di indagine (presso Enti Pubblici e non);
- b) rilievo strutturale di dettaglio;
- c) realizzazione di saggi e indagini sui materiali costituenti le strutture e sul terreno di fondazione ed indagini di carattere geologico e geotecnico.

Le informazioni raccolte in questa fase devono consentire la ricostruzione completa ed esaustiva di tutti i meccanismi resistenti che compongono la struttura, sia nei confronti dei carichi statici che sismici.

Per quanto riguarda gli elementi non strutturali, per la valutazione della vulnerabilità si dovranno raccogliere tutti gli elementi per compilare l'allegato A) della Linea Guida del Consiglio Superiore dei Lavori pubblici del 2009.

2.1 - Reperimento degli elaborati progettuali/atti.

Se non messi a disposizione dal Comune, gli elaborati e le informazioni necessarie (elaborati strutturali, disegni architettonici, relazioni di calcolo, certificati di collaudo, documenti di cantiere, notizie storiche sul progetto, normative vigenti all'epoca, impresa costruttrice, varianti in corso d'opera, modifiche successive alla realizzazione, condizioni di manutenzione, ecc.) dovranno essere acquisiti a cura e spese dell'incaricato delle verifiche, presso l'archivio comunale, archivi storici, Genio Civile, ecc.

2.2 - Rilievo strutturale.

La geometria della struttura deve essere nota per consentire la messa a punto di un adeguato modello strutturale. È necessaria quindi l'esecuzione di sopralluoghi finalizzati alla verifica della corrispondenza tra lo stato attuale dell'edificio e gli elaborati strutturali di progetto, nel caso siano stati reperiti o, in caso contrario, esecuzione di un rilievo ex novo dell'organismo strutturale con:

- verifica delle geometrie e dei dettagli costruttivi;
- verifica delle dimensioni degli elementi strutturali;
- esecuzione di saggi in situ per la caratterizzazione tipologica dei solai e dei tamponamenti, finalizzata alla determinazione dei pesi propri da computare nell'analisi dei carichi - previo accordi con il Responsabile Unico del Procedimento/Titolare dell'attività;
- verifica mediante pacometro-georadar e/o rimozione del copriferro della quantità e disposizione delle armature principali e delle staffe, della chiusura delle stesse e loro raffittimento ai nodi.

Quest'ultima costituisce una preliminare ed essenziale operazione da effettuare sugli elementi in c.a. al fine di non incorrere nel taglio di porzioni di barre di armatura durante il prelievo dei campioni e consente inoltre, di acquisire informazioni sulla duttilità dell'elemento strutturale.

Per l'identificazione della geometria, i dati raccolti devono includere almeno i seguenti:

1. identificazione del sistema resistente laterale in entrambe le direzioni;
2. tessitura dei solai;
3. dimensioni geometriche di travi, pilastri e pareti in muratura;
4. larghezza delle ali di eventuali travi a T;
5. possibili eccentricità fra travi e pilastri ai nodi.

Per l'identificazione dei dettagli costruttivi, i dati raccolti devono includere almeno i seguenti:

- a. quantità di armatura longitudinale in travi, pilastri e pareti portanti;
- b. quantità e dettagli di armatura trasversale nelle zone critiche e nei nodi trave-pilastro;
- c. quantità di armatura longitudinale nei solai che contribuisce al momento negativo di travi a T;
- d. lunghezze di appoggio e condizioni di vincolo degli elementi orizzontali;
- e. spessore del copriferro;
- f. lunghezza delle zone di sovrapposizione delle barre.

Per determinare la geometria strutturale in situ, quando non in vista, è preferibile ricorrere a indagini non distruttive (*percussione, termografia, georadar, pacometro, ecc.*) in quanto meno invasive per le finiture.

Nel caso si debba necessariamente rimuovere l'intonaco per una analisi visiva, è opportuno selezionare gli elementi strutturali da indagare nelle zone comuni o in un eventuale piano scantinato, soffitta o deposito, per ridurre l'impatto della rimozione dell'intonaco. La presenza di travi ad altezza permette di individuare gli allineamenti dei pilastri.

Per la determinazione dello spessore dei pilastri può essere opportuno rifarsi allo spessore della tamponatura o dei setti murari in allestimento, misurabile in corrispondenza delle aperture (*finestre e porte*

finestre). Lo spessore dei solai e dell'altezza di interpiano può essere determinato più agevolmente nel vano scala.

Per gli edifici in muratura i dettagli costruttivi da esaminare sono relativi ai seguenti elementi:

- a) qualità del collegamento tra pareti verticali;
- b) qualità del collegamento tra orizzontamenti e pareti ed eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento;
- c) esistenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture;
- d) presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad eliminare le spinte eventualmente presenti;
- e) presenza di elementi anche non strutturali ad elevata vulnerabilità;
- f) tipologia della muratura e sue caratteristiche costruttive.

Il rilievo strutturale deve essere restituito graficamente mediante piante, prospetti e sezioni in numero e con un livello di dettaglio sufficiente a rappresentare quanto sopra richiesto, evidenziando:

- le dimensioni e la tipologia degli elementi strutturali quali spessore e tipo delle murature, dimensioni di pilastri, travi e setti in c.a. degli elementi in legno o in acciaio, tipologia e dimensione degli architravi;
- spessore, tipologia e orditura dei solai con la stratigrafia delle finiture e tramezzi su di essi gravanti.
- presenza di catene o di elementi metallici;
- inoltre verranno indicate nicchie, canne fumarie, ecc.

Particolare attenzione dovrà essere dedicata alla rappresentazione (anche schematica) dei “*fattori di vulnerabilità geometrica*” (ad esempio: piani sfalsati, muri in falso, disassamenti, volte non contrastate ecc.).

Inoltre, dovrà essere presente:

- (a) un inquadramento generale dell'edificio/aggregato (che ne consenta l'individuazione nel tessuto urbano ed il rapporto con gli immobili adiacenti);
- (b) una adeguata descrizione (possibilmente mediante sintetica mappatura ai piani) delle destinazioni d'uso dei diversi locali;
- (c) una esaustiva documentazione fotografica, sia di insieme che delle parti maggiormente significative (elementi caratteristici, fattori di vulnerabilità, lesioni, etc.), opportunamente referenziata.

Rilievo degli elementi non strutturali il cui danneggiamento può comportare grossi disagi o problematiche connesse alla pubblica incolumità, in condizioni ordinarie e/o in caso di evento sismico, quali es. danneggiamenti intonaci, controsoffittature, tramezzature, scivolamento di manti di copertura, distacchi di cornicioni, distacchi di parapetti, caduta di oggetti di vario tipo sia interni che collegati alle parti esterne dell'edificio e rilievo delle relative criticità.

2.3- Caratteristiche geomorfologiche del sito

Devono essere acquisite le informazioni relative alle caratteristiche del terreno, nella misura necessaria alla definizione dell'azione sismica di riferimento (effetti stratigrafici, topografici, etc.) e alla valutazione della sicurezza delle strutture di fondazione. I metodi per la definizione di dette caratteristiche possono variare significativamente, anche in funzione della presenza o meno di eventuali problematiche connesse alle fondazioni ed al terreno di sedime.

2.4- Quadro fessurativo e/o di degrado

Devono essere rilevati i quadri fessurativi presenti classificando ciascuna lesione secondo la tipologia del meccanismo associato (distacco, rotazione, scorrimenti, spostamenti fuori dal piano ecc.) e deformativo (evidenti fuori piombo, rigonfiamenti, depressioni ecc.), e per quanto possibile, ricostruito quello pregresso e “mascherato” da interventi eseguiti in precedenza, volti o meno alla riparazione dei danni strutturali. Le informazioni dovranno essere restituite in elaborati grafici specifici completi ed esaustivi.

2.5- Determinazione dei livelli di conoscenza e della campagna di indagini

La normativa prevede tre differenti livelli di conoscenza:

- LC1: Conoscenza Limitata;

- LC2: Conoscenza Adeguata;
- LC3: Conoscenza Accurata,

Per ognuno vengono descritte valori minimi per le informazioni necessarie, i metodi di analisi ammessi, i livelli di rilievi e prove per le diverse tipologie di edifici, nonché i fattori di confidenza corrispondenti.

Al professionista è richiesto di raggiungere un livello minimo di conoscenza adeguata degli immobili (**LC2**), eseguendo gli accertamenti relativi a dettagli strutturali e proprietà dei materiali secondo quanto indicato dalla normativa vigente, con particolare riferimento al paragrafo C8A – appendice al capitolo 8 - della Circolare n.617 del 2 febbraio 2009, per le parti non in contrasto con il DM 17 gennaio 2018. Tuttavia, si precisa che la scelta del numero di elementi da sottoporre ad indagine dovrà essere proporzionata alle dimensioni dell'edificio, effettuando quindi, se necessario un numero di prove maggiore rispetto a quello indicato in normativa come numero indicativo e non esaustivo che va adattato ai singoli casi nell'ambito del livello prestabilito (tali oneri sono già compresi nel complessivo della prestazione affidata); le ulteriori prove possono essere effettuate successivamente alle prime per ampliare i dati ottenuti soprattutto nel caso in cui questi fornissero valori incongruenti e dispersivi.

2.6 - Indagini e prove in situ ed in laboratorio.

La conoscenza dei dettagli costruttivi e delle proprietà dei materiali deve essere ben nota per consentire le verifiche di sicurezza e la messa a punto del modello strutturale. Le prove in situ ed in laboratorio sono finalizzate ad integrare le informazioni disponibili dai disegni costruttivi o da un progetto simulato, eseguito secondo la pratica dell'epoca della costruzione.

Le indagini di laboratorio o specialistiche, cioè quelle che vanno oltre i semplici esami a vista o saggi manuali, dovranno essere adeguatamente valutati preliminarmente e giustificate, definendo l'obiettivo e le modalità di esecuzione.

Per determinare le proprietà meccaniche e lo stato di degrado del calcestruzzo esistono diverse tecniche di indagine, sia distruttive che non distruttive, di cui alcune:

- meccaniche: indice sclerometrico, prove di estrazione, prove di penetrazione, carotaggio;
- soniche: metodo ultrasonico;
- combinate: a due parametri (SonReb);
- elettromagnetiche: radiografia, termografia, georadar;
- chimiche: profondità di carbonatazione, penetrazione dei cloruri.

Per le proprietà meccaniche e lo stato di degrado delle armature le tecniche di indagine distruttive e non distruttive sono:

- rilievo delle armature: pacometro, radiografia;
- corrosione: misura del potenziale elettrochimico;
- proprietà meccaniche: prelievo di campioni.

Nell'applicazione delle tecniche elencate ed eventualmente altre ammissibili, che il professionista potrebbe proporre di adottare, si raccomanda di seguire le istruzioni della normativa tecnica vigente.

Per la modalità di determinazione della resistenza strutturale del calcestruzzo si potrà fare riferimento alle norme UNI EN 12504-1:2002, UNI EN 12504-2:2001, UNI EN 12504- 3:2005, UNI EN 12504-4:2005, UNI EN 13791:2008, ecc., nonché alle *“Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Febbraio 2008”*.

Per l'accertamento delle proprietà meccaniche dell'acciaio si richiama la norma UNI EN ISO 15630-1 – 2004.

Per quanto riguarda gli edifici in muratura, si evidenzia che alcune tipologie di edifici possono risultare particolarmente vulnerabili alle azioni sismiche, ovvero possono presentare danneggiamenti e alterazioni irreversibili che ne hanno compromesso la stabilità dovuti ad altri fattori.

I principali mezzi di indagine attualmente disponibili si basano anche in questo caso su tecniche sia distruttive che non distruttive:

- endoscopia;
- martinetti piatti semplici e doppi;
- shove-test;
- prove meccaniche dirette
- ecc

Di tutte le indagini specialistiche condotte dovranno essere restituite:

- I) copia sia cartacea che su file editabile (vedi disciplinare d'incarico) della documentazione prodotta dalle ditte specializzate incaricate;
- II) elaborati grafici con ubicazione delle prove condotte;
- III) relazione di interpretazione dei risultati delle indagini (indicando anche letteratura/normativa di riferimento per l'interpretazione).

In caso di risultati ritenuti poco affidabili, gli stessi saranno comunque riportati, indicando la motivazione per la quale si ritengono tali e pertanto non presi in considerazione nelle analisi numeriche.

Tutti i sondaggi e tutti i prelievi effettuati ai fini della comprensione del comportamento strutturale e della caratterizzazione dei materiali, ecc, dovranno essere documentati anche attraverso una adeguata documentazione fotografica con riferimento sugli elaborati grafici dei punti ripresi.

2.7 - Criteri generali per individuare gli elementi strutturali da indagare negli edifici in cemento armato

Come noto, la normativa di riferimento per gran parte delle opere edificate nel dopoguerra (R.D. 16 novembre 1939 n° 2229) prevedeva un valore minimo da assumersi per la resistenza cubica del conglomerato a 28 giorni di maturazione di 120 Kg/cm², valore questo inferiore sia a quello di 150 Kg/cm² prescritto nel D.M. 27 luglio 1985 n. 37 relativo alla legge n. 1086 del 05.11.1971, sia al valore di 250 Kg/cm² richiesto successivamente dalle norme tecniche per le costruzioni in zona sismica (escludendo le ultime NTC che introducono il concetto di Classe di resistenza, prescrivendo quello minimo C20/25).

È probabile quindi trovarsi in alcuni casi dove a pieno regime di utilizzo, le strutture offrono prestazioni statiche inferiori a quelle di sicurezza previste dalla normativa attuale.

Purtroppo in generale come dimostra l'esperienza, è possibile riscontrare calcestruzzo con qualità non ottimali anche in strutture più recenti, questo contribuisce a rendere poco affidabili in termini di sicurezza e di esposizione al rischio sismico parte delle strutture in c.a.

Per una corretta valutazione sugli edifici del grado di vulnerabilità e degli interventi necessari, è indispensabile da parte del tecnico la corretta individuazione della resistenza del calcestruzzo, estendendo se necessario le indagini oltre il minimo previsto per il livello di conoscenza prescritto (tali oneri sono già compresi nel complessivo della prestazione affidata).

I risultati delle ricerche di vulnerabilità già condotte in Italia hanno evidenziato nella maggior parte dei casi, un elevato stato di degrado dei conglomerati cementizi, soprattutto per gli edifici di età superiore ai 40 anni e problematiche del seguente tipo:

- a) problemi di resistenza della struttura dovuti ai bassi valori dell'R_{ck} del calcestruzzo;
- b) problemi di duttilità della struttura dovuti alla insufficiente presenza di staffature in acciaio e/o alla non accurata realizzazione delle stesse;
- c) bassa resistenza al taglio degli elementi strutturali;
- d) espulsione del copriferro per l'aumento di volume delle armature colpite dalla corrosione a causa dei fenomeni di carbonatazione;
- e) errori progettuali o di messa in opera;
- f) prescrizioni normative vigenti all'epoca di costruzione meno restrittive delle attuali;
- g) mancato rispetto delle normative vigenti all'epoca della costruzione e carenza di controlli sul cantiere;

h) mancata corrispondenza tra gli elaborati di progetto e lo stato di fatto dell'immobile.

Il numero delle indagini per determinare la resistenza caratteristica deve essere sufficiente per individuare un valore che sia rappresentativo della qualità media dei getti; pertanto nel caso di valori $R_{ck} < 150$ Kg/cm² occorre prevedere un'estensione delle indagini, per accertare il risultato ottenuto e così escludere la possibilità di aver indagato zone di calcestruzzo particolarmente deteriorate o non rappresentative della qualità media dei getti. Nel caso di conferma dei dati ottenuti nella prima fase, occorrerà valutare l'opportunità di proporre all'Ente interventi immediati, nelle more della tempestiva verifica sismica.

Nella scelta degli elementi da indagare è opportuno considerare quanto di seguito riportato.

Le strutture intelaiate in c.a. sono caratterizzate da un comportamento sotto sismi violenti in cui le deformazioni in campo anelastico si concentrano alle estremità dei pilastri e delle travi, con formazione di cerniere plastiche, con un eventuale coinvolgimento del nodo in relazione ai quantitativi di armature longitudinali degli elementi strutturali che convergono verso il nodo stesso. La presenza di un'eccessiva quantità di armatura longitudinale rispetto alla disponibilità di armatura trasversale (staffe) può determinare negli elementi strutturali il verificarsi di una rottura fragile a taglio prima o contemporaneamente alla plasticizzazione duttile a flessione.

Si ricorda che i meccanismi di rottura più favorevoli per le strutture in c.a. sono quelli in cui vengono evitate rotture fragili dei nodi e degli elementi strutturali per taglio, dunque meccanismi determinati dalla plasticizzazione delle travi a tutti i piani ed alla base dei pilastri al solo piano terra (**travi deboli e colonne forti**), che coinvolgono il maggior numero possibile di cerniere plastiche. Le strutture che rispondono a tale cinematismo presentano una buona regolarità nella distribuzione di rigidezze e resistenza lungo l'altezza, che garantisce l'assorbimento delle forze laterali da parte dell'intera struttura, con una distribuzione uniforme del danno e conseguente minimizzazione delle deformazioni locali.

I più recenti criteri di progettazione hanno introdotto il concetto di **duttilità dei nodi trave-pilastro**, con l'obiettivo di determinare una prefissata gerarchia di danno nel meccanismo di collasso di una struttura intelaiata sottoposta ad azioni taglianti.

Tale comportamento è difficile riscontrarlo negli edifici esistenti, pertanto è quindi più probabile ipotizzare la formazione di un meccanismo di collasso di piano con formazione di cerniere plastiche in testa ai pilastri di un piano, salvo sporadiche plasticizzazioni in alcune travi ed in alcuni pilastri di altri piani (**travi forti e colonne deboli**).

Il coinvolgimento di un numero ridotto di elementi strutturali di un unico piano alla dissipazione di energia ed in particolare di pilastri soggetti, per la funzione che svolgono, a sforzi di compressione che ne riducono la duttilità, determina limitate capacità dissipative d'insieme della struttura e la possibilità di rotture fragili per schiacciamento.

Questo tipo di meccanismo può essere accelerato ed aggravato dalla presenza dei cosiddetti "**piani soffici**". Le tamponature, infatti, per quanto non considerate a fini sismici in fase di calcolo, svolgono una funzione di dissipazione dell'energia, come delle pareti di taglio anche se di rigidezza decisamente inferiore. In questo caso si formeranno delle cerniere plastiche al piede e in testa ai pilastri del piano in oggetto rendendo la struttura estremamente vulnerabile: gli spostamenti ai piani alti saranno più grandi e le sollecitazioni al piede insostenibili, fino al raggiungimento del collasso per rottura dei pilastri.

Ciò premesso, nell'individuazione degli elementi strutturali da indagare si deve considerare innanzitutto che i meccanismi di rottura più favorevoli per le strutture in c.a. sottoposte ad un'azione sismica sono quelli in cui sono evitate rotture fragili dei nodi e degli elementi strutturali per taglio e che coinvolgono il maggior numero possibile di cerniere plastiche, dunque meccanismi determinati dalla plasticizzazione delle travi a tutti i piani ed al piede dei pilastri del solo piano terra (travi deboli e colonne forti).

Per un edificio esistente, realizzato senza progettazione antisismica o con criteri antisismici non appropriati, è tuttavia più probabile che si inneschi un meccanismo di collasso di piano, ossia un meccanismo che coinvolge prevalentemente i pilastri di un piano, salvo sporadiche plasticizzazioni in alcune travi ed in alcuni pilastri di altri piani, provocando la formazione di cerniere plastiche alle loro estremità (travi forti e colonne deboli).

Nella scelta degli elementi strutturali da indagare si ritiene pertanto opportuno privilegiare l'elemento pilastro rispetto all'elemento trave, sia nel numero delle indagini da eseguire sia nella scelta del tipo di prova, effettuando sugli elementi strutturali verticali prove sia distruttive che non distruttive mentre sulle travi prove preferibilmente di tipo indiretto.

L'individuazione degli elementi strutturali da indagare deve essere effettuata in maniera tale da ottenere un campione significativo di elementi, in grado di rappresentare le caratteristiche medie dei getti di cls della struttura nella loro interezza, in termini di omogeneità, di qualità e di resistenza meccanica.

A tal proposito si richiama quanto definito nelle Norme tecniche a proposito della definizione dei livelli di rilievo dei dettagli costruttivi e di prove da eseguire sugli edifici, per la determinazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali in base al livello di conoscenza LC2 che si deve raggiungere ai fini della scelta del tipo di analisi e dei coefficienti parziali di sicurezza da adoperare in fase di verifica.

3 - FASE C – Elaborazione dei dati raccolti - Verifiche numeriche.

3.1. Generalità

In base ai dati raccolti, gli esiti delle prove diagnostiche, le indicazioni tecniche generali di cui al presente documento e altre indicazioni che eventualmente verranno prescritte dall'Ente, dovranno essere effettuate una serie di elaborazioni (analisi strutturali e modellazioni numeriche), finalizzate a valutare la capacità della struttura per confrontarla con la domanda corrispondente ai vari stati limite previsti dalla normativa.

Di seguito sono riportate schematicamente le fasi e prestazioni richieste; queste ove non espressamente specificato, non possono in alcun modo essere ritenute alternative o sostitutive delle indicazioni del D.M. 17.01.2018 e della Circolare 2 febbraio 2009 n. 617, per le parti non in contrasto con il predetto DM e di eventuali ulteriori norme successivamente emanate ed in vigore all'atto dell'espletamento dell'incarico, ai cui testi integrali si rimanda.

Per tutte le analisi di tipo numerico di seguito riportate dovranno essere:

- I) illustrate le ipotesi alla base della modellazione numerica, commentandone l'attendibilità; se necessario, si potrà far riferimento, di volta in volta, a schemi limite che considerino le condizioni estreme dei parametri più incerti (es: piano infinitamente rigido/diaframma inesistente; solaio in semplice appoggio/solaio incastrato o semincastrato; etc.);
- II) chiaramente identificati (anche graficamente) gli schemi statici impiegati e, per verifiche di tipo locale localizzati gli elementi/meccanismi investigati;
- III) chiaramente dichiarati i valori numerici dei parametri coinvolti (aspetti dimensionali - modello geometrico; carichi applicati - modello delle azioni; caratteristiche meccaniche dei materiali - modello meccanico), esplicitandone l'origine (ad esempio, indicando i riferimenti normativi/bibliografici e/o le prove sperimentali da cui sono "estratti" i dati impiegati);
- IV) riportati i passaggi maggiormente significativi delle analisi svolte (ad esempio, parametri, formule, grandezze, grafici o risultati intermedi) utili alla comprensione dei risultati finali;
- V) illustrati i risultati delle analisi, sintetizzandoli mediante grafici, tabelle riepilogative e/o mappe di sintesi; grafici di sintesi della PGA, TR, VNR, per le diverse combinazioni/direzioni/meccanismi-locali considerati; etc.).

3.1.1 - Verifica nei confronti dei carichi statici

Le verifiche nei confronti delle combinazioni statiche dovranno essere condotte per le fondazioni, gli elementi resistenti verticali, travi, scale e orizzontamenti (quest'ultimi tre laddove non esistenti già), il tutto con i carichi fissi reali e con quelli accidentali rivalutati in ragione dell'effettiva destinazione d'uso. Relativamente a questi ultimi, i campi di solaio investigati (dai saggi atti a definirne spessori, armature e quant'altro necessario, fino alla verifica numerica) dovranno essere geometricamente e tipologicamente rappresentativi. Gli elementi investigati dovranno essere localizzati in appositi elaborati grafici.

Dovranno essere riportati i dettagli delle singole verifiche effettuate e dovrà essere sintetizzato l'esito dando un giudizio complessivo e motivato sulla capacità portante delle diverse tipologie di membrature. Qualora quest'ultima risulti inferiore a quella richiesta per le nuove costruzioni con medesima destinazione

d'uso (secondo quanto previsto per l'adeguamento di una costruzione esistente), dovrà essere fornita una "ragionevole" stima (indicandone il valore numerico) della capacità portante ed individuate/evidenziate eventuali limitazioni all'uso della costruzione.

Il giudizio sulla capacità portante potrà essere differenziato per le diverse porzioni dell'edificio e/o per vani con funzione diversa (ad esempio, si potranno definire limitazioni d'uso differenziate per gli uffici, gli archivi, le sale riunioni e/o per i diversi "corpi" del complesso).

Chiaramente quanto indicato ai capoversi precedenti relativamente ai solai, travi, scale interne, vale nel caso in cui l'amministrazione non abbia già disponibile i dati richiesti nel presente documento.

3.1.2 - Analisi dei meccanismi locali

Dovranno essere valutati i valori di accelerazione al suolo ed i periodi di ritorno per i quali risultano attivati i singoli meccanismi di danneggiamento/collasso locale, evidenziando questi ultimi in ordine decrescente di vulnerabilità.

Per ciascun tipo di meccanismo dovrà essere chiaramente illustrato lo schema statico/cinematico alla base del calcolo eseguito. Gli elementi/meccanismi investigati dovranno essere localizzati in appositi elaborati grafici.

3.1.3 - Analisi dei meccanismi globali

Dovranno essere valutati i valori di accelerazione al suolo ed i periodi di ritorno per i quali risultano attivati i meccanismi di danneggiamento/collasso globale, evidenziando gli elementi che possono entrare via via in crisi al crescere dell'accelerazione al suolo.

I risultati saranno commentati, evidenziando le principali criticità (direzioni deboli, piani maggiormente vulnerabili, elementi sensibili – es. fasce di piano e/o maschi murari) e fornendo indicazioni circa eventuali interventi per il miglioramento della risposta sismica.

Inoltre andranno evidenziate le vulnerabilità non valutabili numericamente o valutabili con scarsa affidabilità (normalmente legate a problematiche di faticenza di singoli elementi strutturali, collegamenti, etc.) dando su di esse un giudizio tecnico.

3.2 – Criteri di riferimento per l'input sismico e per le verifiche

3.2.1 - Vita nominale per tipi di opere

La vita nominale di un'opera strutturale VN è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale, salvo specifiche diverse indicazioni in sede di conferimento dell'incarico, deve essere assunta pari a quella di cui alle costruzioni di tipo 2 riportata nella Tab. 2.4.I delle NTC, ovvero $VN \geq 50$ anni.

3.2.2 - Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in diverse classi d'uso.

l'edificio interessato dalle verifiche oggetto del presente affidamento d'incarico rientra nella Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi [...] di cui al punto 2.4.2 del DM 17 gennaio 2018 e al punto C2.4.2 della Circolare 617/2009 per le parti non in contrasto con il predetto DM.

Si precisa che il professionista incaricato dovrà valutare se particolari condizioni di utilizzo, anche in relazione all'attività ed agli affollamenti riscontrabili nelle strutture, ovvero disposizioni normative regionali, determinino la necessità di riferirsi ad una diversa classe d'uso. In tal caso la circostanza dovrà essere riportata nella Relazione metodologica.

3.2.3 - Periodo di riferimento

Le NTC introducono il periodo di riferimento dell'azione sismica dato da $VR = VN \times Cu$. Al crescere di VR aumenta l'azione sismica di riferimento per l'opera rispetto a tutti gli stati limite considerati.

Per l'edificio in esame con classe d'uso **III**, il coefficiente C_u sarà pari a 1,5 e quindi con un periodo di riferimento pari o superiore a 75 anni.

3.2.4 - Stati limite e relative probabilità di superamento.

Le nuove NTC consentono quando opportuno, il riferimento a 4 stati limite per l'azione sismica riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite **di esercizio** sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite **ultimi** sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

I quattro stati limite così definiti, consentono di individuare quattro situazioni diverse che, al crescere progressivo dell'azione sismica, ed al conseguente progressivo superamento dei quattro stati limite ordinati per azione sismica crescente (**SLO, SLD, SLV, SLC**), fanno corrispondere una progressiva crescita del danneggiamento all'insieme di struttura, elementi non strutturali ed impianti, per individuare così univocamente ed in modo quasi "continuo" le caratteristiche prestazionali richieste alla generica costruzione.

Ai quattro stati limite sono stati attribuiti (v. Tabella 3.2.I delle NTC 2018) valori della probabilità di superamento P_{VR} pari rispettivamente a **81%, 63%, 10% e 5%**, valori che restano immutati quale che sia la classe d'uso della costruzione considerata; tali probabilità, valutate nel periodo di riferimento V_R proprio della costruzione considerata, consentono di individuare, per ciascuno stato limite, l'azione sismica di progetto corrispondente.

Viene richiesta per tutti gli edifici in oggetto la verifica nei confronti di uno stato limite ultimo **SLV** e se *richiesto/necessario* anche **SLC** e nei confronti di due stati limite di esercizio (**SLO** e **SLD**).

3.2.5 - Azione sismica di riferimento

Sulla base dei dati relativi alle destinazioni d'uso presenti (vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento) ed alle caratteristiche geomorfologiche del sito, viene definita l'azione sismica di riferimento per ciascuno degli stati limite considerati (in termini di forme spettrali e/o accelerogrammi da impiegare nelle analisi sismiche).

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "*pericolosità sismica di base*" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria **A** quale definita al § 3.2.2 delle NTC 2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente **Se (T)**, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , come definite nel §

3.2.1 NTC 2018, nel periodo di riferimento VR, come definito nel § 2.4 NTC 2018. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla *pericolosità sismica* del sito.

Ai fini in oggetto le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Valutato il periodo di riferimento VR della costruzione (espresso in anni), ottenuto come prodotto tra la vita nominale VN fissata all'atto della progettazione ed il coefficiente d'uso CU che compete alla classe d'uso nella quale la costruzione ricade (v. § 2.4 delle NTC), si ricava poi, per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento V_R , il periodo di ritorno T_R del sisma.

I periodi di ritorno associati ai diversi stati limite dipendono dalla probabilità di superamento di ciascuno di essi nel periodo di riferimento V_R dell'opera secondo la legge $T_R = -V_R / \ln(1-PVR)$.

Ottenuti i valori di T_R corrispondenti agli stati limite considerati si possono infine ricavare, al variare del sito nel quale la costruzione sorge ed utilizzando i dati riportati negli Allegati A e B alle NTC, l'accelerazione del suolo a_g e le forme dello spettro di risposta di progetto per ciascun sito, costruzione, situazione d'uso, stato limite.

In particolare gli spettri di risposta elastici sono definiti dai parametri a_g , F_o e T^*_c per periodi di ritorno T_R compresi fra 30 e 2475 anni. L'Allegato A alle NTC fornisce le indicazioni per ottenere i valori dei parametri per qualunque periodo di ritorno interpolando fra quelli forniti.

3.2.6 - Regolarità dell'edificio

Le costruzioni devono avere, quanto più possibile, struttura iperstatica caratterizzata da regolarità in pianta e in altezza. Le condizioni di regolarità dell'edificio determinano il tipo di analisi da effettuare. La regolarità strutturale in pianta è data essenzialmente da una forma compatta, dalla simmetria di masse e rigidezze, mentre quella in altezza è data essenzialmente dalla presenza di elementi resistenti ad azioni orizzontali estesi a tutta l'altezza, dalla variazione graduale di massa e di rigidezza con l'altezza e dalla ridotta entità delle variazioni, fra piani adiacenti, dei rapporti tra resistenza di piano effettiva e resistenza richiesta.

Per quanto riguarda gli edifici, una costruzione è *regolare in pianta* se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

- a) la configurazione in pianta è compatta e approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali, in relazione alla distribuzione di masse e rigidezze;
- b) il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui la costruzione risulta inscritta è inferiore a 4;
- c) nessuna dimensione di eventuali rientri o sporgenze supera il 25 % della dimensione totale della costruzione nella corrispondente direzione;
- d) gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistenti.

Sempre riferendosi agli edifici, una costruzione è *regolare in altezza* se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

- e) tutti i sistemi resistenti verticali (quali telai e pareti) si estendono per tutta l'altezza della costruzione;
- f) massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base all'apice della costruzione (le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25 %, la rigidezza non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%); ai fini della rigidezza si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. o pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base;
- g) nelle strutture intelaiate il rapporto tra resistenza effettiva e resistenza richiesta dal calcolo non è significativamente diverso per orizzontamenti diversi (il rapporto fra la resistenza effettiva e quella richiesta, calcolata ad un generico orizzontamento, non deve differire più del 20% dall'analogo rapporto

determinato per un altro orizzontamento); può fare eccezione l'ultimo orizzontamento di strutture intelaiate di almeno tre orizzontamenti;

h) eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengono in modo graduale da un orizzontamento al successivo, rispettando i seguenti limiti: ad ogni orizzontamento il rientro non supera il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzontamento, né il 20% della dimensione corrispondente all'orizzontamento immediatamente sottostante. Fa eccezione l'ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro piani per il quale non sono previste limitazioni di restringimento.

3.2.7 - Fattori di confidenza

Il fattore di confidenza **FC** si determina in funzione del livello di conoscenza LC raggiunto.

Il valore numerico di FC è desunto dalla Circolare 617/2009 tabella C8A.1.2 per edifici in calcestruzzo o in acciaio e C8A.1.1 per edifici in muratura, per le parti non in contrasto con il DM 17 gennaio 2018.

3.2.8 - Modellazione della struttura - Metodo di analisi e criteri di verifica

Il modello della struttura su cui verrà effettuata l'analisi deve rappresentare in modo adeguato la distribuzione di massa e rigidità effettiva considerando, laddove appropriato (*come da indicazioni specifiche per ogni tipo strutturale*), il contributo degli elementi non strutturali.

E' consentito considerare separatamente le azioni nelle due direzioni principali, ma il modello dell'edificio deve essere tridimensionale.

Il metodo di analisi utilizzato dal professionista che deve essere coerente con le indicazioni di cui al *par. 7.3 delle NTC e par. C8.7.2.4 per costruzioni in cemento armato o acciaio*, deve consentire di valutare in maniera appropriata sia la resistenza che la duttilità disponibile

In relazione alla tipologia strutturale, alle caratteristiche dei materiali, agli schemi resistenti alle forze verticali ed orizzontali ed alle vulnerabilità accertate il professionista deve inserire nel modello di calcolo tutti gli elementi ritenuti condizionanti per la capacità della struttura.

A titolo indicativo e non esaustivo si ricorda che è opportuno considerare quanto segue:

- edifici in cemento armato:

- la presenza di eccentricità tra centro di massa e centro di rigidità;
- la presenza di piani a minor rigidità o minor resistenza;
- la presenza di tamponature irregolari, sia in pianta che in altezza;
- i possibili effetti della tamponatura sulle zone di estremità dei pilastri, anche con modelli semplificati;
- la presenza di finestre a nastro che possono comportare l'insorgere di meccanismi fragili nei pilastri;
- fondazioni a quote diverse;
- in generale le conseguenze dello stato di conservazione;

- edifici in muratura:

- la disgregazione del paramento murario nel caso di tessitura fortemente irregolare, malte degradate e paramento scollegato in senso trasversale;
- ribaltamenti fuori dal piano delle pareti se non bene ammorsate alle pareti perpendicolari e ai solai di piano, se sufficientemente rigidi e resistenti;
- elementi spingenti, quali volte senza catene e coperture a falda in assenza di capriate o per tessitura delle travi non orizzontali;
- pilastri isolati in muratura destinati a portare carico verticale;
- maschi murari corti chiamati a deformazioni angolari maggiori;
- in generale le conseguenze dello stato di conservazione;

3.2.9 - Risultati dell'analisi: Capacità in termini di accelerazione al suolo e periodo di ritorno per diversi SL

La valutazione della sicurezza consiste nel determinare l'entità massima delle azioni, considerate nelle combinazioni di progetto previste, che la struttura è capace di sostenere con i margini di sicurezza richiesti dalle NTC 2018, definiti dai coefficienti parziali di sicurezza sulle azioni e sui materiali.

L'entità dell'azione sismica sostenibile è denominata **Capacità**, l'entità dell'azione sismica attesa è denominata **Domanda**, entrambe vanno determinate per gli stati limite considerati. Tenendo conto che per i meccanismi "duttili" il confronto è in termini di deformazione, mentre per i meccanismi "fragili" il confronto è in termini di resistenza.

Un modo sintetico ed esaustivo di esprimere l'entità dell'azione sismica, e quindi di Capacità e Domanda è il relativo periodo di ritorno TR, tuttavia è opportuno riportare i risultati della valutazione anche in termini di accelerazione massima orizzontale al suolo, anche se questa grandezza, da sola, non descrive l'intero spettro ma solo un punto di esso.

Viene quindi richiesto di determinare e riportare in una tabella riepilogativa i valori di accelerazione al suolo (*PGAC*), periodo di ritorno (*TRC*), vita nominale restante (V_{NR}) corrispondenti al raggiungimento dei diversi stati limite:

PGACLC = capacità per lo stato limite di prevenzione del collasso (*SLC*) – la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

PGACLV = capacità per lo stato limite di salvaguardia della vita (*SLV*) - la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

PGACLD = capacità per lo stato limite di danno (*SLD*) - la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

PGACLO = capacità per lo stato limite di operatività (*SLO*) la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi.

VNR = vita nominale restante senza effettuare alcun intervento.

Analogamente per i periodi di ritorno TRC, i cui indici diventano TRCLC, TRCLV, TRCLD e TRCLO rispettivamente per gli stati limite SLC, SLV, SLD ed SLO. Ovviamente vanno determinati e riportati nella tabella riepilogativa i soli valori relativi agli stati limite considerati nell'analisi.

Si ricorda (v. par. 3.2.4) che è richiesta per tutti gli edifici in oggetto la verifica nei confronti di uno stato limite ultimo (*SLV* o *SLC*) e nei confronti di due stati limite di esercizio (*SLO* e *SLD*).

I diversi stati limite possono essere raggiunti per differenti elementi o meccanismi: ad esempio il superamento della resistenza di elementi fragili (*taglio o nodi*) o il superamento della capacità di deformazione di elementi duttili (*rotazione rispetto alla corda*), in una tabella riepilogativa vanno riportati i valori di PGAC e TRC corrispondenti all'attivazione dei diversi SL per diversi elementi o meccanismi. La PGA che viene riportata comprende gli effetti eventuali di amplificazione locale (*Ss ST e Cc*).

Il professionista non dovrà fermare l'analisi all'attivazione del primo meccanismo ma a portarla avanti in modo da poter valutare cosa accadrebbe se quel meccanismo venisse disattivato grazie ad un opportuno intervento (ad esempio se il primo meccanismo è un collasso a taglio, spingere comunque oltre l'analisi per vedere se, eliminato quel meccanismo, aumenta in modo significativo la capacità e da quale meccanismo è determinata). In questo modo il professionista potrà anche fornire una proiezione di estensione di possibili interventi e degli aumenti di capacità che ne conseguirebbero. In altri termini, la prosecuzione dell'analisi oltre il primo meccanismo è utile per capire quale sia la possibilità di miglioramento della struttura. In particolare, è molto utile se la PGA minima è determinata da rotture o meccanismi localizzati e prematuri, in quanto consente di capire di quanto potrebbe aumentare la capacità complessiva intervenendo su porzioni modeste della struttura.

La tabella riepilogativa i valori di accelerazione al suolo (*PGAC*), periodo di ritorno (*TRC*), vita nominale restante (*VNR*) corrispondenti al raggiungimento dei diversi stati limite di cui sopra, oltre ad essere compilata per l'edificio nel quale non si ipotizzi alcun intervento, dovrà essere compilata anche per situazioni nei quali si ipotizzano degli interventi concordati con il committente secondo quanto riportato nel precedente capoverso.

3.2.10 - Valori di riferimento

I valori che caratterizzano la Capacità devono essere confrontati con i valori che caratterizzano la domanda per i diversi stati limite, in termini sia di accelerazioni al suolo sia di periodi di ritorno dell'azione sismica di riferimento (le grandezze di interesse si determinano dall'Allegato A alle NTC tenendo conto dei periodi di riferimento, degli effetti di modifica locale dell'azione sismica, e dello stato limite considerato). Si determina la Domanda in termini di PGA definendo, per gli stati limite considerati nella verifica, i valori delle accelerazioni di picco al suolo: PGADLC, PGADLV, PGADLD, PGADLO e i valori dei periodi di ritorno associati all'azione sismica: TRDLC, TRDLV, TRDLD e TRDLO rispettivamente per gli stati limite SLC, SLV, SLD ed SLO.

3.2.11 - Indicatori di rischio

Si definiscono e quindi dovranno essere quantificati due tipi di indicatori di rischio: il primo dato dal rapporto fra capacità e domanda in termini di PGA ed il secondo espresso dall'analogo rapporto fra i periodi di ritorno dell'azione sismica. Il primo rapporto è concettualmente lo stesso utilizzato come indicatore di rischio per le verifiche sismiche effettuate in coerenza con gli Allegati all'Ordinanza 3274/03 e s.m.i. e con il Decreto del Capo Dipartimento di Protezione Civile n. 3685/03. Tale indicatore, nel nuovo quadro normativo di riferimento determinatosi con le nuove NTC, non è sufficiente a descrivere compiutamente il rapporto fra le azioni sismiche, vista la maggiore articolazione della definizione di queste ultime. Esso, tuttavia, continua a rappresentare una "scala di percezione" del rischio, ormai largamente utilizzata e con la quale è bene mantenere una affinità.

Viene quindi introdotto il secondo rapporto, fra i periodi di ritorno di Capacità e Domanda. Quest'ultimo, però, darebbe luogo ad una scala di rischio molto diversa a causa della conformazione delle curve di pericolosità (*accelerazione o ordinata spettrale in funzione del periodo di ritorno*), che sono tipicamente concave. Al fine di ottenere una scala di rischio simile alla precedente, quindi, il rapporto fra i periodi propri viene elevato ad un coefficiente "*a*" = **1/2,43** ottenuto dall'analisi statistica delle curve di pericolosità a livello nazionale, (auc) è un indicatore del rischio di collasso, (auv) del rischio per la vita, mentre (aed) è un indicatore del rischio di inagibilità dell'opera ed (aen) del rischio di non operatività.

Valori prossimi o superiori all'unità caratterizzano casi in cui il livello di rischio è prossimo a quello richiesto dalle norme; valori bassi, prossimi a zero, caratterizzano casi ad elevato rischio.

Gli indicatori di rischio, potranno essere utilizzati per determinare scale di priorità di intervento e quindi per la programmazione degli eventuali interventi.

Il professionista dovrà integrare i valori numerici degli indicatori ottenuti con considerazioni chiare tipiche della Valutazione (tecnica) della sicurezza per determinare se: l'uso della costruzione possa continuare senza interventi; l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso); sia necessario o opportuno procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante.

3.3 - Indagini geologiche e geotecniche

Prima di avviare le indagini il professionista dovrà acquisire tutte le informazioni necessarie sulla presenza di sottoservizi e redigere laddove necessario una planimetria con l'indicazione di questi, affinché le esplorazioni ecc. non arrechino danni ai sottoservizi (tale onere è compreso).

3.3.1 - Indagini geologiche e geotecniche

Per definire i livelli di accelerazione al suolo corrispondenti al raggiungimento dei differenti stati limiti ed i loro rapporti con le accelerazioni di riferimento è necessario individuare le situazioni geologiche e geotecniche a contorno dell'area di sedime dell'opera nelle loro situazioni attuali e nel loro stato evolutivo.

Per comprendere le caratteristiche del sito ed effettuare la verifica sismica dell'edificio è indispensabile una corretta e completa ricostruzione del modello geologico all'interno del quale inserire la struttura in oggetto.

Per tutti gli edifici sono necessarie indagini specialistiche sulle strutture e sui terreni di fondazione per raggiungere i livelli di conoscenza previsti.

Lo strutturista dovrà avvalersi di un Geologo abilitato, individuato nella struttura operativa sin dalla manifestazione di interesse così come prescritto al punto 4 dell'Avviso pubblico, per raggiungere il livello di conoscenza richiesto.

I modelli geologico e geotecnico dovranno ricostruire i caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e geotecnici dell'area di sedime, ed essere sviluppati in modo da costituire utile elemento quantitativo, e non solo qualitativo, di riferimento per lo strutturista.

Il Geologo, investito da incarico professionale, dovrà redigere una relazione che sarà parte integrante della Verifica Tecnica e compilare la Scheda di sintesi nei paragrafi di propria competenza.

3.3.2 - Indagini, caratterizzazione e modellazione geologica

La caratterizzazione geologica del sito consiste nella comprensione e descrizione dei seguenti aspetti relativi al sito in esame, al fine di definire il modello geologico: assetto geologico, ricostruzione stratigrafica, caratteristiche sismiche, assetto idrogeologico (con particolare riferimento alla vulnerabilità), caratteri geomorfologici, caratteri geostrutturali.

I parametri geologici devono essere desunti dalle indagini che il geologo effettuerà.

L'ampiezza dei rilevamenti dovrà permettere di valutare in maniera oggettiva lo stato di fatto della situazione geologica al contorno e la sua eventuale evoluzione che possa presagire fenomeni di instabilità in caso di evento sismico.

Geologicamente dovranno essere valutate le condizioni che possono provocare effetti di amplificazione in caso di evento sismico.

È importante valutare la situazione stratigrafica del sito al fine di riconoscere eventuali e possibili livelli passibili di fenomeni di liquefazione. Tale valutazione è necessaria al fine di poter indirizzare le indagini geotecniche in modo mirato. In relazione ed in scheda di Sintesi dovrà essere indicata tale possibilità.

3.3.3 -Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica

La caratterizzazione geotecnica consiste nell'individuare le caratteristiche fisiche e meccaniche del terreno, necessarie alla definizione del modello geotecnico e alla valutazione della sicurezza del sistema opera-terreno.

I parametri fisici e meccanici saranno desunti da prove eseguite in laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e/o attraverso l'elaborazione dei risultati di prove e misure in sito.

L'ubicazione delle indagini richiederà particolare cura in presenza di manufatti particolarmente sensibili ai cedimenti del terreno di fondazione, a fenomeni di liquefazione e/o a terreni che possono determinare fenomeni di amplificazione di sito in caso di evento sismico.

Il rischio di liquefazione deve essere valutato per i terreni suscettibili di tale comportamento. Per il calcolo del potenziale di liquefazione si deve fare riferimento ai risultati di prove in sito, utilizzando procedure condivise in letteratura.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulla capacità portante o sulla stabilità delle fondazioni, dovrà essere ben evidenziato in relazione e indicato nella Scheda di sintesi tecnica.

Dal punto di vista geotecnico si dovranno indicare i seguenti parametri del terreno di fondazione dell'opera da verificare: Angolo di attrito interno ϕ' , Coesione efficace c' , Resistenza non drenata c_u , Peso dell'unità di volume γ .

In presenza di possibili terreni liquefacibili, oltre a quelli precedentemente indicati, dovranno essere riportati la Densità Relativa ed il numero di colpi NSPT (per Standard Penetration Test o Cone Penetration Test).

3.3.4 - Indicazione della categoria del suolo di fondazione

Il Geologo incaricato della verifica, una volta raccolti tutti i dati geologici e geotecnici dovrà indicare chiaramente in quale categoria di suolo di fondazione si attesta l'opera in verifica in modo da ottenere il livello di rischio associato alla effettiva situazione geologico/geotecnica.

È fatto obbligo comunque di tenere in considerazione per la verifica tecnica e di indicare nella Relazione di calcolo e nella Scheda di Sintesi i seguenti parametri geologici dell'area su cui insiste l'opera da verificare:

- dati geologici/geomorfolologici (litologia, presenza di limiti tettonici o di cambiamento litologico, fenomeni erosivi di instabilità in atto e loro grado, presenza di cresta o dirupo, acclività del pendio, fenomeni erosivi e di instabilità in atto e loro grado);
- dati idrogeologici (vicinanza a corsi di acqua, presenza di falda entro i 3m dal p.c.);
- dati sismici (zona sismica di riferimento, valore di ancoraggio orizzontale del suolo, presenza di studi di microzonazione sismica etc., velocità media onde di taglio V_{s30});
- dati di vulnerabilità geologica (area perimetrata ai sensi del DL 180/98 o in altre perimetrazioni specifiche di tipo nazionale o regionale).

In particolare, in accordo con la normativa, si dovrà indicare:

1. la metodologia utilizzata per l'attribuzione della categoria di suolo di fondazione necessaria per la definizione della azione sismica di progetto.
2. il tipo di indagini eseguite: sondaggi geognostici a distruzione o a carotaggio continuo, prova standard penetration test (SPT) o cone penetration test (CPT), prospezione sismica in foro (Down-Hole o Cross-Hole), prova sismica superficiale a rifrazione o MASW, analisi granulometrica, prove triassiali, prove di taglio diretto, ecc.);
3. la presenza di eventuali anomalie nel terreno di fondazione, quali cavità, Sinkhole (sprofondamenti naturali) e/ola presenza di terreni di fondazione di natura significativamente diversa;
4. il parametro del terreno che consente di attribuire la categoria del suolo di fondazione direttamente attraverso il valore della velocità media onde di taglio V_{s30} nei primi 30 metri misurati dal piano delle fondazioni (*in m/s*), calcolato secondo la formula 3.2.1 del paragrafo 3.2.2 delle NTC 2018;
5. informazioni circa la suscettibilità alla liquefazione, da compilare quando sussistono le condizioni previste dalle NCT. Devono essere riportate: la profondità (*in m*) della falda e della fondazione rispetto al piano di campagna (*nel caso di fondazioni a quote diverse fornire quella relativa all'estensione massima*); l'indicazione della presenza o meno di terreni a grana grossa sotto la quota di falda entro i primi 15 m di profondità; lo spessore (*in m*) e la relativa densità dei terreni incoerenti suddivisi in sabbie fini, medie e grosse.
6. sulla base dei parametri indicati ai punti precedenti, indicare la categoria di sottosuolo di fondazione così come indicato nella normativa.
7. i valori dei parametri che modificano lo spettro di risposta per tener conto dell'influenza delle condizioni stratigrafiche locali.
8. in base alle tabella 3.2.IV e 3.2.VI delle NTC 2018, indicare il valore del Coefficiente di Amplificazione Topografica **ST**.
10. Segnalare il caso in cui il fattore di amplificazione **SS** ed il periodo **TC** di transizione derivino da più approfonditi studi di risposta sismica locale (*RSL*).

4 - FASE D - Sintesi dei risultati.

Ferma la necessità di redazione di tutti gli elaborati previsti dalla normativa vigente, le risultanze della fase attuativa delle verifiche tecniche statiche, di sicurezza sismica (anche degli elementi non strutturali) dovranno essere comprese, in apposito documento consuntivo nel quale saranno:

- sintetizzati gli elementi salienti tra quelli descritti nei paragrafi precedenti (sintesi del percorso conoscitivo);

- riepilogate le problematiche emerse e le relative indicazioni sui possibili rimedi (vulnerabilità riscontrate e possibili rimedi, ecc).

Il professionista dovrà inoltre compilare la scheda di sintesi della verifica sismica di "livello 1" o di "livello 2" per gli edifici strategici ai fini della protezione civile o rilevanti in caso di collasso a seguito di evento sismico.

Dovrà inoltre compilare le tabelle degli elementi non strutturali di cui è stata valutata la vulnerabilità sismica secondo la Linea guida del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e compilare le conseguenti schede di intervento come indicato nella Linea guida (Presidenza Consiglio dei Ministri- Dipartimento della protezione civile) per la riduzione della vulnerabilità di elementi non strutturali arredi ed impianti.

4.1. Sintesi del percorso conoscitivo.

Il professionista dovrà produrre un documento di sintesi del percorso conoscitivo, i sopralluoghi preliminari, il materiale informativo reperito, le modalità di rilievo geometrico e strutturale e il quadro di danneggiamento, i saggi effettuati, le prove specialistiche, etc.

Dovrà fornire una sintesi descrittiva delle strutture, della qualità dei materiali, dei quadri fessurativi e relativa interpretazione (o dichiarazione di assenza di danni).

Fornirà un elenco delle verifiche numeriche condotte, indicando per ciascuna di esse le principali ipotesi che la caratterizzano (grado di affidabilità, eventuali ipotesi "limite", etc.).

4.2. Vulnerabilità riscontrate e possibili rimedi.

In quest'ultimo punto vengono sintetizzati e commentati i risultati delle analisi, sia qualitative che numeriche, esprimendo un giudizio generale sul fabbricato, con riferimento ai quattro principali aspetti:

- 1) vulnerabilità non quantificabili;
- 2) verifiche nei confronti dei carichi statici;
- 3) analisi dei meccanismi locali;
- 4) analisi dei meccanismi globali;
- 5) analisi degli elementi non strutturali (vedi paragrafo 4).

Questo paragrafo che è rivolto principalmente al Committente, dovrà contenere informazioni e linguaggio adeguato a tale scopo; in particolare, dovranno essere chiaramente evidenziati:

- a) eventuali limitazioni all'uso della costruzione (es. portata dei diversi campi di solaio, etc.);
- b) vulnerabilità "non quantificabili" riscontrate;
- c) i livelli di sicurezza nei confronti dell'azione sismica, individuando i meccanismi (locali e globali) che, al crescere dell'input, via via si attivano;
- d) Vita utile nominale residua dell'edificio attuale, in assenza di interventi di miglioramento/adeguamento;
- e) gli eventuali interventi di consolidamento necessari per la mitigazione delle vulnerabilità riscontrate (interventi di miglioramento atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle NTC vigenti; riparazioni o interventi locali che interessino elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti), con la relativa stima di massima dei costi di intervento;
- f) Vita utile nominale dell'edificio ipotizzando alcuni interventi di miglioramento/ adeguamento, senza i quali la struttura risulta fortemente vulnerabile.

Il professionista dovrà diagnosticare quali possano essere le cause di debolezza delle singole parti e individuare o adattare alla situazione l'intervento e la tecnologia più idonea ad eliminarle o ridurle drasticamente.

Il documento consuntivo dovrà essere completo per ciascun edificio al fine del successivo invio alla Regione Sicilia, della Scheda di sintesi di livello 1 e 2 della verifica sismica di edifici strategici ai fini della protezione civile o rilevanti in caso di collasso a seguito di evento sismico, adottate dal Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Servizio Sismico Nazionale, compilate con gli appositi software.

In particolare dovranno essere riportati gli indicatori di rischio di collasso e di inagibilità.

5 - Documenti e normative di riferimento

Gli elaborati di verifica e il loro contenuto tecnico devono risultare coerenti oltre con i riferimenti normativi ecc. sopra riportati, anche con i seguenti documenti e normative, parte integrante e sostanziale delle presenti istruzioni tecniche:

- D.M. 14.01.2008, Norme tecniche per le costruzioni;
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617;
- T.U. Edilizia D.P.R. n.380/2001 di cui vanno osservate modalità e procedure;
- Legge e regolamento dei contratti pubblici di lavori, servizi e forniture;

Per quanto non diversamente specificato nelle NTC 2018, si intendono coerenti con i principi alla base della stessa, le indicazioni riportate nei seguenti documenti:

- Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali o, in mancanza di esse, nella forma internazionale EN;
- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;
- Norme per prove, materiali e prodotti pubblicate da UNI;

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, a integrazione delle NTC 2018 e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità: - Istruzioni e Linee Guida del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;

- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.);
- Linee guida per la riduzione della vulnerabilità di elementi non strutturali arredi ed impianti – Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione civile – Giugno 2009;
- Linee guida per la riparazione e il rafforzamento di elementi strutturali, tamponature e partizioni – Dipartimento Protezione Civile – ReLUIS – 2009.

L'elenco di cui sopra non è da intendersi esaustivo, inoltre **il riferimento sarà quello del quadro normativo vigente al momento dell'espletamento delle prestazioni.** L'eventuale variazione della normativa durante l'espletamento delle prestazioni, comporta l'obbligo da parte del professionista di adeguare il lavoro già svolto e da svolgere a quanto previsto dalla nuova normativa (onere già compreso).

Il presente documento costituisce parte integrante e sostanziale del disciplinare di incarico professionale.

ALLEGATO "A"



1) Calcolo del volume

Il volume della scuola è pari a mc 6.154,58 come di seguito esplicitato:

Piano Terra

Corpo A mq. 6,55 x 15,55 x 4,40	= mc	448,15
Corpo B mq. 12,65 x 6,70 x 4,40	= mc	372,92
Corpo C mq. 24,00 x 10,08 x (5,45+7,66)/2	= mc	1.584,58
Corpo D mq. 3,80 x 3,55 x (4,10+5,30)/2	= mc	63,40
Corpo E mq. 5,25 x 4,20 x (4,10+5,30)/2	= mc	103,64
Corpo F mq. 20,00 x 6,35 x 4,10	= mc	520,70
Corpo G mq. 25,35 x 10,10 x (5,26+7,26)/2	= mc	1.602,78
SOMMANO	= mc	4.696,17

Piano seminterrato

Corpo A mq. 6,55 x 21,70 x 3,00	= mc	426,41
Corpo C mq. 21,40 x 3,60 x 3,00	= mc	231,12
Corpo G mq. 28,40 x 9,40 x 3,00	= mc	800,88
SOMMANO	= mc	1458,41

Totale Piano terra + Piano seminterrato = mc. 6154,58