



# **REGIONE PUGLIA**

## **ASSESSORATO ALLE OPERE PUBBLICHE - SETTORE LAVORI PUBBLICI -**

**Programma temporale delle verifiche delle opere ed infrastrutture strategiche e rilevanti di cui all'OPCM 3274 del 20.03.2003**

**Linee Guida per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici ed infrastrutture strategiche e rilevanti.**

**originale alla determina 383 del 11.07.2006**

## **Premessa.**

Alla luce delle proposte ed indicazioni poste in essere, anche da altre Regioni, in merito alle verifiche tecniche di cui all' O.P.C.M. n° 3274/'03 sugli edifici ed infrastrutture rilevanti esistenti, si è predisposto un atto di indirizzo per gli operatori chiamati ad eseguire le verifiche sismiche sulle opere suddette.

L'esigenza di predisporre "Linee Guida", per l'esecuzione delle verifiche sugli edifici ed infrastrutture strategiche e rilevanti, scaturisce dalla necessità di ottenere risultati, omogenei e confrontabili sul territorio regionale, tesi alla definizione del successivo Programma Temporale degli interventi di adeguamento sismico.

Riferimenti essenziali per il raggiungimento delle suddette finalità e risultati sono dettati da:

- DPCM 21.10.2003 (G.U. 29.10.2003 n° 252) Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2, 3 e 4 dell' OPCM 3274 del 20.03.2003;
- OPCM 3362 dell' 08.07.2004 (G.U. 16.07.2004 n° 165) Modalità di attivazione del Fondo per interventi straordinari della Presidenza del Consiglio dei Ministri.

L'attività di verifica dovrà essere articolata, essenzialmente, secondo le seguenti procedure:

- 1) raccolta di dati esistenti;
- 2) esecuzione di ulteriori indagini, ove necessario;
- 3) elaborazione dei dati raccolti e di quelli rilevati, valutazione di vulnerabilità sismica;
- 4) sintesi dei risultati.

## **A) RACCOLTA DI DATI ESISTENTI**

### **A.1 RACCOLTA DI DATI AMM.VI, TECNICI E GEOLOGICI DELL'OPERA.**

Per quanto possibile, compatibilmente con i tempi disponibili ed i costi sostenibili, al fine di acquisire un'adeguata conoscenza dell'opera e relative caratteristiche strutturali, si dovrà procedere alla raccolta di:

- progetti (ed eventuali varianti) architettonici e strutturali comprensivi di relazione di calcolo, relazione geologica, relazione geotecnica;
- documenti di contabilità;
- certificati di prove sui materiali impiegati;
- certificati di collaudo;
- classificazioni sismiche previgenti;
- eventuali progetti di ristrutturazioni, miglioramenti e/o adeguamenti sismici già attuati.

### **A.2 STORIA PROGETTUALE, COSTRUTTIVA E SISMICA DELLE OPERE.**

Sulla scorta della documentazione eventualmente reperita come indicato al punto 1.1 e/o in mancanza della stessa, anche basandosi su testimonianze di progettisti, costruttori e/o manutentori delle opere, occorre procedere a:

- descrizione generale dell'opera;
- individuazione dei corpi strutturali indipendenti che costituiscono il complesso dell'opera in esame,
- geometria, tipologia e materiali costruttivi delle strutture e paramenti orizzontali e verticali;
- descrizione dello stato generale di conservazione e dell'eventuale quadro fessurativo rilevato;
- anno e/o epoca di progettazione, inizio e completamento delle opere;
- anno e/o epoca e tipo di eventuali interventi successivi al completamento delle opere con particolare riferimento ad eventuali interventi che possano aver variato la struttura originaria rafforzandola (eventuali miglioramenti e/o adeguamenti sismici eseguiti) o indebolendola

(eventuali sopraelevazioni, nuove aperture in corrispondenza di pareti murarie portanti, ecc...);

- descrizione della storia sismica delle opere con riferimento ad eventi subiti ed eventuali danni rilevati;
- descrizione delle caratteristiche geologiche del terreno di fondazione con particolare riferimento ai principali fattori che possono incidere sulla pericolosità geologica del sito (falde acquifere con escursioni piezometriche, cavità naturali e/o antropiche, movimenti franosi, fenomeni di subsidenza, etc.)

### A.3 RICOGNIZIONE VISIVA DELLE OPERE

La rilevazione riguarderà in particolare la geometria dell'opera e i dissesti conseguenti ad eventi sismici passati e/o in atto.

Per quanto attiene la geometria dovranno essere rilevati eventuali difformità rispetto al progetto originario e/o documentazione di cui al punto A.1.

Nel caso di mancanza e/o irreperibilità della suddetta documentazione occorrerà procedere al rilievo delle caratteristiche geometriche delle opere.

In merito a dissesti in atto o conseguenti ad eventi passati, occorrerà dare indicazione sulla eventuale presenza di quadri fessurativi relativi a:

- danni dovuti da evento sismico (tipo di sisma, tipo ed entità del danno);
- cedimenti di fondazioni;
- lesioni di strutture orizzontali e verticali nonché lesioni e o deformazioni indotte negli elementi non strutturali;
- degrado e difetti costruttivi (distacchi di copriferro, corrosione armature, degrado inerti, fuori piombo costruttivi, ecc...).

### A.4 SINTESI DEI DATI

La raccolta dei dati indicati al punto A.1 (di cui si fornirà elenco e copie elaborati reperiti) e le osservazioni e rilievi eseguiti, di cui al punto A.2 e A.3, dovranno essere sintetizzati nella relazione finale oltre che riportati nelle schede di sintesi della verifica sismica di livello 1 e 2 per edifici ed infrastrutture sensibili, predisposte dal Dipartimento di Protezione Civile ed allegate alle presenti "Linee Guida".

## **B) ELABORAZIONE DATI E VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ SISMICA DEI FABBRICATI ESISTENTI.**

### **B.1 GENERALITA'**

L'allegato 4 alla delibera di Giunta Regionale n° 153 del 02 marzo 2004 da indicazioni in merito alle verifiche tecniche da eseguire su edifici ed opere strategiche e/o rilevanti in ossequio di quanto previsto ai commi 3 e 4 dell'art. 2 dell'OPCM 3274/'03. Ad ogni buon conto le modalità di svolgimento delle attività tese alla valutazione di vulnerabilità sismica, propedeutica alla successiva valutazione della sicurezza, dovranno essere coerenti alle indicazioni di cui agli allegati 2 e 3 dell'OPCM 3274/'03 così come aggiornata dall'OPCM 3431 del 03.05.2005. In particolare l'art. 11 dell'allegato 2 della suddetta OPCM indica i livelli di conoscenza da conseguire per la valutazione della resistenza sismica per edifici esistenti. Per quanto attiene le infrastrutture indicazioni in merito saranno assunte dall'all. 3 alla precitata OPCM 3274/'03 così come aggiornata dall'OPCM 3431 del 03.05.2005.

L'esecuzione di saggi sulle strutture e materiali saranno condotti ai sensi delle vigenti norme in vigore.

## **B.2 INDAGINI DIRETTE SUI FABBRICATI (SAGGI)**

I saggi sulla struttura e sui principali elementi non strutturali sono finalizzati a definire nel massimo dettaglio le loro caratteristiche geometriche esterne e interne, la tipologia strutturale, l'efficacia dei collegamenti, la presenza e le dimensioni di giunti di separazione strutturale, le caratteristiche di un eventuale quadro fessurativo conseguente ad eventi sismici o ad altre azioni, ecc..

Nel definire numero e tipo di saggi ci si riferirà fondamentalmente all'OPCM 3274/03, Allegato 2, Cap. 11, così come integrata e modificata dall'OPCM 3431/05, cercando di conseguire il livello di conoscenza adeguata (LC2), nel caso di reperibilità del progetto, o limitata (LC1) in assenza di alcun documento progettuale o costruttivo delle strutture.

In particolare, per le strutture in c.a. e in muratura, è possibile attenersi alle seguenti raccomandazioni.

### **Strutture in c.a.**

Il numero di saggi sarà commisurato al grado di conoscenza conseguibile dal progetto, considerando comunque le indicazioni minime contenute nell'OPCM 3274/2003 e successivi aggiornamenti per il livello di conoscenza previsto (LC2 o LC1), e deriverà dalle seguenti considerazioni:

- è fondamentale una buona conoscenza della geometria dei singoli elementi strutturali e delle loro armature longitudinali e trasversali; si privilegeranno (quanto a numero di elementi indagati ed accuratezza dell'indagine) i pilastri rispetto alle travi;
- in caso di disponibilità degli elaborati progettuali, i saggi saranno finalizzati a verificare la rispondenza tra edificio realizzato e progetto; si catalogheranno gli elementi strutturali, particolarmente i pilastri, con caratteristiche uguali, per geometria e armatura, e si effettueranno saggi nel numero e secondo le modalità previste dalla normativa (O.P.C.M. 3274/03 - Cap. 11 – Tab. 11.2.A);
- in caso di indisponibilità degli elaborati progettuali, occorrerà cercare di individuare la struttura, attraverso una prima ricognizione a vista e alcuni saggi sull'intonaco, anche con l'ausilio di un pacometro. Si individueranno quindi le caratteristiche di ripetitività della struttura (ad esempio telai trasversali paralleli ad interasse costante), definendo così un criterio di indagine che permetta di ridurre il numero di saggi volti alla determinazione delle armature; si procederà poi all'effettuazione dei saggi come specificato al precedente punto;

- per quanto riguarda le fondazioni, particolarmente in mancanza di elaborati progettuali e nel caso di evidenza di cedimenti fondali, si consiglia di effettuare almeno un saggio in fondazione, che consenta di verificare: profondità del piano di posa, tipologia e caratteristiche geometriche della struttura di fondazione. Nei casi in cui si presuma che le caratteristiche delle strutture di fondazione non siano uniformi, va incrementato opportunamente il numero di saggi;
- i saggi sulle tamponature saranno volti a determinarne la geometria interna (presenza di intercapedine) e le caratteristiche dei materiali (mattoni pieni, forati, blocchetti di calcestruzzo, etc.); analoga indagine verrà svolta sulle tramezzature di spessore superiore ai 10 cm e prive di aperture; anche per gli elementi non strutturali si procederà per tipi, così da limitare il numero di saggi;
- in caso di presenza di lesioni visibili sull'intonaco, se ne verificherà l'effettiva consistenza nella struttura in c.a., approfondendo eventualmente i saggi, per verificare le ipotesi fatte in fase 1 (attività a.3 – Ricognizione visiva);
- particolare attenzione verrà rivolta all'approfondimento delle cause di eventuali lesioni, dissesti o stati di degrado, già presi in esame nella predetta attività A.3, scoprendo la struttura in corrispondenza di eventuali fessure e lesioni ed effettuando saggi accurati (ad es. volti a rilevare le condizioni delle armature presenti per valutare se eventuali lesioni o distacchi di copriferro siano conseguenti alla corrosione dell'acciaio).

### Strutture in muratura

Gli elaborati progettuali sono, spesso, di difficile reperibilità. Le indagini mediante saggi saranno essenzialmente finalizzate a:

- a) definire la geometria (spessori) delle pareti portanti, individuando la presenza di tramezzature non strutturali e di eventuali aperture chiuse ed il relativo grado di connessione con le murature originarie;
- b) definire i materiali (laterizi pieni o forati, blocchetti di calcestruzzo, valutando l'entità dei vuoti del singolo blocco di laterizio o di calcestruzzo, pietra squadrata, pietra non squadrata, etc.) e la tessitura della muratura (muratura piena, muratura a due paramenti non o scarsamente ammorsati tra loro, muratura a sacco, con definizione di tipologia e spessore dei singoli paramenti e del riempimento, etc.); si raccomanda di eseguire almeno due saggi a tutto spessore per ogni piano, rispettivamente su un muro longitudinale e trasversale. Se l'edificio

presenta muri di diverse caratteristiche (per materiali o apparecchio murario), il numero di saggi va incrementato opportunamente;

- c) individuare la presenza e definire le caratteristiche di precedenti interventi di rafforzamento della struttura muraria (ristilatura dei giunti, iniezioni di legante, intonaco cementizio armato e non su uno o entrambi i lati, iniezioni armate di cucitura, etc.);
- d) verificare il grado di ammorsamento tra murature ortogonali;
- e) individuare la presenza di cordoli di c.a. in corrispondenza dei solai, o di catene/tiranti, di cui si verificherà l'integrità e l'efficacia (messa in forza rispetto al capochiave);
- f) verificare la presenza e definire le caratteristiche degli architravi o delle piattabande in corrispondenza di porte e finestre;
- g) per quanto riguarda le fondazioni, verificare (particolarmente in mancanza di elaborati progettuali e nel caso di evidenza di cedimenti fondali): profondità del piano di posa, tipologia, materiale e caratteristiche geometriche della struttura di fondazione. Nei casi in cui si presuma che le caratteristiche delle strutture di fondazione non siano uniformi, va incrementato opportunamente il numero di saggi;
- h) in caso di presenza di lesioni, verificarne la continuità e l'entità nella muratura.

Particolare attenzione, comunque, dovrà essere rivolta all'approfondimento delle cause di eventuali dissesti, mediante l'esecuzione di saggi ad hoc.



### **B.3 EFFETTUAZIONE DI PROVE ED INDAGINI STRUTTURALI, GEOLOGICHE E GEOTECNICHE**

I rilievi, le prove e le indagini sono finalizzati al completamento dei dati di riferimento per la messa a punto di un modello di valutazione della vulnerabilità sismica.

I rilievi saranno svolti a completamento delle attività A.2, e consisteranno nelle misurazioni atte a definire la geometria delle parti resistenti.

Le prove saranno finalizzate a definire le proprietà meccaniche dei materiali delle parti resistenti. Nel definire numero e tipo di prove ci si riferirà fundamentalmente alle indicazioni contenute nell'O.P.C.M. 3274/03, G.U. 08.05.2003, allegato 2, cap. 11, cercando di conseguire il livello di conoscenza assunto nella precedente attività A.2. Oltre alle prove distruttive previste nella citata ordinanza, si raccomanda l'esecuzione di prove non distruttive finalizzate a verificare l'omogeneità delle caratteristiche meccaniche in tutta la struttura.

È inoltre necessaria la ricognizione della natura e dello stato delle fondazioni, a mezzo di opportune indagini. Ove necessario, in presenza di pendii potenzialmente instabili, di pareti rocciose sovraincombenti con rischio di distacchi o crolli, di cavità sotterranee, di fenomeni di subsidenza e d'altro, lo studio del sottosuolo è esteso ad area più ampia ed opportunamente orientato. Nel caso contrario, viene fatta specifica menzione dell'assenza di fattori di questo tipo.

#### Strutture in c.a.

Le prove sulla struttura saranno finalizzate a determinare, soprattutto, le caratteristiche di resistenza del calcestruzzo, come di seguito specificato.

In mancanza di dati affidabili relativi ad indagini precedenti, e soprattutto in presenza di evidenza di cedimenti fondali, è necessario eseguire una indagine geologica e geotecnica. In tal caso si consiglia di effettuare almeno un sondaggio nel terreno, e comunque in numero adeguato alle dimensioni dell'edificio, con estrazione di campioni indisturbati e analisi di laboratorio e/o prove penetrometriche eventualmente da integrare con profili sismici a rifrazione in onde P ed S e/o profili geoelettrici di opportuna lunghezza.

Al fine di determinare la resistenza media del calcestruzzo da adottare nelle verifiche, il numero di prelievi e di indagini non distruttive va commisurato alle informazioni acquisibili mediante la documentazione di progetto e collaudo reperita e al livello di conoscenza che si vuole conseguire, in accordo con l'OPCM 3274/2003 ed alle dimensioni dell'edificio. In ogni caso si raccomanda di eseguire non meno di:

- 2 prelievi di carote da sottoporre a prove a rottura di compressione in laboratorio, per ogni piano dell'edificio e comunque non meno di 3 prelievi complessivamente nell'intera struttura;
- 6 punti di misura combinata sclerometrica — ultrasonica (SONREB) su travi e pilastri, per ogni piano, calibrando la resistenza sulla base delle prove sulle carote estratte (ossia tre punti di misura saranno in corrispondenza dei punti di prelievo delle carote, e le misure saranno effettuate prima del carotaggio).

In caso di incerta determinazione delle caratteristiche delle armature di acciaio, ottenibile in base al tipo di barra (liscia o ad aderenza migliorata), ai documenti progettuali, esecutivi, di collaudo e/o alla normativa dell'epoca, si preleveranno almeno due campioni di armatura da sottoporre a prove di trazione.

#### Strutture in muratura

Si suggerisce di effettuare prove con martinetti piatti (singolo e doppio) in numero almeno pari al numero di tipologie di muratura significativamente presenti nell'edificio, preferibilmente al primo livello, per determinare lo stato tensionale e la resistenza della muratura.

Si raccomanda, inoltre, di verificare l'omogeneità di caratteristiche della malta sull'intero edificio, ad esempio attraverso prove penetrometriche e/o prove chimiche sulla malta.

In mancanza di dati affidabili relativi ad indagini condotte in precedenza e soprattutto in presenza di evidenza di cedimenti fondali, è necessario eseguire una indagine geologica e geotecnica. In tal caso si consiglia di effettuare almeno un sondaggio nel terreno, e comunque in numero adeguato alle dimensioni dell'edificio, con estrazione di campioni indisturbati e analisi di laboratorio e/o prove penetrometriche eventualmente da integrare con profili sismici a rifrazione in onde P ed S e/o profili geoelettrici di opportuna lunghezza.

#### **B.4 RICOSTRUZIONE DELLO SCHEMA STRUTTURALE DELL' EDIFICIO IN ASSENZA DI DOCUMENTAZIONE TECNICA DISPONIBILE**

Sulla base dei saggi e dei rilievi svolti sarà possibile, anche nel caso di impossibilità di reperire i documenti di progetto, di esecuzione e collaudo, ricostruire lo schema della struttura, che verrà sempre restituito graficamente, producendo file in formato DWG o DXF.

Nei disegni dovranno essere riportati tutti gli elementi necessari all'esecuzione delle valutazioni di vulnerabilità descritte.

In particolare, per gli edifici in muratura, dovranno essere riportate le piante schematiche con, almeno, tutte le pareti murarie strutturali, portanti e/o efficaci ai fini della resistenza sismica, il loro spessore, le caratteristiche tipologiche, le altezze di interpiano e le altezze delle aperture, le caratteristiche geometriche delle parti sotto e sopra finestra, la tessitura dei solai e le caratteristiche dimensionali e tipologiche dei solai di calpestio e di copertura, la presenza di cordoli od altri elementi di collegamento (tiranti, etc.), la presenza di discontinuità nella muratura. Verrà anche prodotta almeno una sezione verticale, con indicate le quote dei solai.

Per gli edifici in c.a., dovranno essere riportate le piante schematiche di carpenteria con, almeno, tutti i pilastri, con le loro dimensioni reali e indicandone le armature, le dimensioni delle travi, le altezze di interpiano, lo spessore e la tipologia delle tamponature, la tessitura dei solai di calpestio e di copertura e le loro caratteristiche dimensionali e tipologiche. Verrà anche prodotta almeno una sezione verticale, con indicate le quote dei solai.

Per entrambe le tipologie strutturali saranno indicati in pianta gli elementi e le parti sottoposte a prove in-situ, carotaggi e saggi.

## **B.5 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LOCALE**

Gli strati più superficiali dei terreni di fondazione possono modificare in maniera sostanziale l'onda sismica che sale in superficie determinando differenti caratteristiche del moto del suolo a contatto con la struttura, sia per intensità (amplificazione), che per contenuto in frequenza (forma spettrale). Il problema è, in generale, molto complesso, e sono necessari indagini e studi approfonditi per arrivare a definire in maniera dettagliata ed affidabile le caratteristiche e l'entità degli effetti di amplificazione locale. A determinare tali effetti contribuiscono sia la morfologia superficiale, ad esempio attraverso effetti di cresta, sia la morfologia degli strati sotterranei, sia, spesso in maniera preponderante, la natura dei terreni di fondazione. La quantificazione degli effetti di amplificazione richiede la conoscenza della geologia di superficie e delle caratteristiche geotecniche dei terreni, conoscenza alla quale si perviene solo attraverso sondaggi, prove geotecniche e misure geofisiche. A titolo di riferimento si rimanda a quanto contenuto nel par. 3.1 all. 2 all'OPCM 3274 (nella versione aggiornata di cui alla OPCM 3431/2005), paragrafo concernente le "Categorie di suolo di fondazione".

I parametri fondamentali per definire il profilo di suolo e, conseguentemente, l'amplificazione e la forma spettrale, sono la velocità di propagazione delle onde di taglio e/o il numero di colpi di una prova penetrometrica standard (SPT Standard Penetration Test) e/o la coesione non drenata.

Gli studi di microzonazione sismica (MS), quando saranno svolti dalla Regione Puglia, consentiranno di definire, per ogni territorio dei comuni, entità e caratteristiche degli effetti di amplificazione locale.

Dovendo procedere alla determinazione della vulnerabilità sismica, prima che tali studi siano disponibili, sarà necessario utilizzare tutte le ulteriori informazioni utili già disponibili, derivanti da studi precedenti, per assegnare alle condizioni specifiche del sito in esame uno dei profili previsti dalle norme (A, B, C, D, E, S1, S2).

Nel caso in cui sufficienti informazioni non siano disponibili o esse risultino carenti sarà necessario effettuare indagini geognostiche per determinare la categoria di profilo stratigrafico di suolo di fondazione per mezzo di almeno una perforazione a carotaggio continuo spinta sino al rinvenimento del "bed-rock" locale con esecuzione di prova geofisica in foro (tipo "down-hole") e/o per mezzo di profili sismici a rifrazione di adeguata lunghezza con misura della velocità delle onde di taglio e calcolo della  $V_{s30}$ .

Una volta definito il profilo di riferimento del suolo, le norme stesse permettono di assegnare un preciso coefficiente di amplificazione  $S$  ed il corrispondente spettro di risposta elastico, da mettere in relazione anche ad eventuali amplificazioni locali di natura morfologica o geologica.,.

Per l'individuazione dell'azione sismica si farà riferimento ai punti 3.2.2 e 3.2.3 dell'all. 2 all'OPCM.

Nel caso infine che il sito ricada in zone da classificare come con profilo di suolo S1 o S2, si rendono indispensabili specifici studi di RSL (Risposta Sismica Locale, ad es. con il metodo di Nakamura) che forniscano le caratteristiche dinamiche della risposta sismica di sito. In mancanza si dovrà inibire l'utilizzo dell'edificio/infrastruttura in questione quale opera strategica/rilevante.

## **B.6 VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ E DEL RISCHIO SISMICO DEGLI EDIFICI**

La valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio può essere effettuata mediante diverse modalità, purché la metodologia scelta consenta di ottenere risultati finali coerenti con quanto previsto nelle seguenti norme:

- DPCM 21.10.2003 (G.U. 29.10.2003, n. 252), Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2, 3 e 4 dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.3.2003 come integrata e modificata dall'OPCM n° 3431 del 03.05.2005.
- OPCM 3362 del 8.7.2004 (G.U. 16.7.2004, n. 165), Modalità di attivazione del Fondo per interventi straordinari della Presidenza del Consiglio dei Ministri, istituito ai sensi dell'art. 32-bis del decreto-legge 30.9.2003, n. 269, convertito, con modificazioni, dalla legge 24.11.2003, n. 236.

Per quanto riguarda le modalità di valutazione si può fare riferimento, a secondo della necessità, a verifiche di livello 1 e 2 come definite nel DPCM 21.10.2003, ed in particolare a quanto previsto ai punti 3.1, 3.1.1 e 3.1.2 per verifiche L1 e punti 3.2, 3.2.1 e 3.2.2 per verifiche L2.

E' possibile utilizzare anche modelli di calcolo semplificati, riconosciuti dalla Comunità Scientifica e la cui fonte sia citata nelle verifiche, che richiedono però un'analisi preliminare dei possibili meccanismi di collasso, in modo da individuare il meccanismo più probabile per la costruzione in esame, in relazione alle sue caratteristiche costruttive, all'esperienza dei passati terremoti, ed ai risultati presenti nella letteratura tecnico - scientifica. Il modello adoperato deve, quindi, essere capace di cogliere il meccanismo di collasso individuato sul quale andranno effettuati i calcoli per la valutazione della vulnerabilità sismica.

Più in generale, indipendentemente dal metodo di calcolo, altri elementi che possono aumentare l'effettiva vulnerabilità dell'edificio possono essere:

- Presenza di danni preesistenti
- Giunti strutturali inadeguati
- Evidenza di cedimenti fondali
- Solai di caratteristiche non adeguate alla luce e all'utilizzo (aule, palestre, ecc.) e/o con evidenti inflessioni
- Muratura di scarsa qualità (di pietrame a sacco o in laterizio), soggetta a comportamenti fragili per instabilità o per costituzione dei materiali e dell'apparecchio murario

- Presenza di pareti intersecate da pareti trasversali ad interasse elevato (>7m) negli edifici in muratura.

Da non sottovalutare, inoltre, nel giudizio complessivo sull'immobile, la vulnerabilità delle parti non strutturali.

L'impiego di qualunque altro modello più o meno semplificato deve essere giustificato descrivendone le condizioni di applicabilità e verificandone il rispetto nel caso in esame.

Per quanto riguarda i risultati da ottenere dalla valutazione si farà riferimento a quanto previsto al punto b) *“Interventi di adeguamento o miglioramento successivi a verifiche tecniche”* di cui all'Allegato 2 alla OPCM 3362/2004.

Per quanto riguarda le verifiche sul patrimonio edilizio culturale, successivamente alle approvazioni di Legge, dovranno essere utilizzate le Linee Guida predisposte dal Ministero per i Beni e le attività culturali di concerto con la Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile.

## **C) PONTI**

Le verifiche tecniche, di livello "1" e "2", sui ponti devono essere eseguite in conformità a quanto previsto nell' Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003, come di seguito integrata e modificata dall' O.P.C.M. n. 3431 del 3 Maggio 2005 (in seguito le O.P.C.M. saranno indicate genericamente OPCM), recepita dalla Regione Puglia con Delibera di G.R. n° 153 del 02.03.2004.

Come si desume dal D.P.C.M. 21.10.2003 e come ribadito dalla delibera di G.R. n° 153 del 02.03.2004 (punto 4 dell'allegato 4), le norme non descrivono esplicitamente le procedure da utilizzare per la verifica dei ponti esistenti. Ad ogni buon conto le procedure indicate per gli edifici in c.a. potranno essere estese al caso dei ponti tenendo comunque conto della specificità delle strutture.

Fatte salve le indicazioni fornite in generale per le procedure di studio e acquisizione di dati relativi agli edifici, nelle presenti "linee guida" si riportano indicazioni minimali cui far riferimento, oltre a studi disponibili in letteratura, per procedere a verifica dei ponti a travata in c.a./c.a.p. e/o a travata a struttura mista - muratura/c.a./c.a.p. e ponti ad arco in muratura.

Di seguito si riportano le indicazioni minimali cui si dovrà fare riferimento per effettuare le verifiche tecniche di livello 1 e 2 sui ponti ribadendo che riferimenti essenziali per le verifiche dei ponti sono contenuti nell'all. 2 e 3 dell'OPCM n° 3274/03, come aggiornata con successiva OPCM 3431 del 03.05.2005.



## C1) PONTI A TRAVATA

I "ponti a travata" sono quei ponti in cui le azioni sismiche orizzontali sono principalmente riprese in corrispondenza delle spalle o per flessione delle pile, ovvero composti da sistemi di pile verticali o pressoché verticali che reggono la sovrastruttura dell' impalcato (le pile si intendono a fusto unico, con sezione trasversale di forma generica, piena o cava, mono o multicellulare; anche pile in forma di portale sono trattabili con le indicazioni contenute in questo allegato).

L'impalcato è composto da travate del tipo continuo su più pile o semplicemente appoggiate ad ogni campata.

Nel presente allegato sono fornite le indicazioni per effettuare le verifiche tecniche secondo i livelli "1" e "2" di acquisizione dati e verifica definiti nell'allegato 4 della Deliberazione della G.R. Puglia n. 153 del 02/03/2004.

Tali livelli si differenziano per il diverso livello di conoscenza ed i diversi strumenti di analisi e di verifica richiesti e si applicano in funzione della regolarità della struttura oggetto di verifica.

Una definizione dei limiti entro i quali possono essere applicate procedure semplificate può essere effettuata con riferimento a numerosi studi disponibili in letteratura, dove si definisce il concetto di "**Regolarità**" per ponti e viadotti.

Indipendentemente dal livello di verifica 1 e 2, è essenziale riconoscere la **Regolarità** del ponte che deve rispondere a tutti i seguenti requisiti (vedasi punto 7.2 dell'OPCM):

- a) il ponte deve presentare una conformazione approssimativamente rettilinea;
- b) longitudinalmente il ponte deve essere simmetrico rispetto alla mezzeria e/o avere un'eccentricità (nel senso trasversale) non superiore al 5% della lunghezza del ponte;
- c) nei ponti a travata continua, la massa efficace complessiva delle pile, facenti parte del sistema resistente al sisma, non deve essere superiore al ad 1/5 della massa dell'impalcato;
- d) in ponti a travata semplicemente appoggiata la massa efficace di ciascuna pila non deve essere superiore al ad 1/5 della massa di impalcato da essa portata;

inoltre necessita che il piano di imposta delle fondazioni sia approssimativamente allo stesso livello e che il ponte non abbia subito nel tempo sostanziali trasformazioni (ampliamenti, modifiche strutturali, ecc ...).

Analogamente a quanto rappresentato per gli edifici, per le successive verifiche di livello 1 e 2, su ogni ponte andranno effettuati sopralluoghi volti alla conoscenza ed al rilievo della struttura. Inoltre dovranno essere acquisite e raccolta tutte quelle informazioni e/o documentazione disponibile in merito al sito di costruzione, epoca di costruzione dell'opera, eventuali variazioni progettuali adottate nel tempo ( ampliamenti, modifiche strutturali, ecc...).

### C.1.1 Verifiche Tecniche di Livello "1"

L'obiettivo minimo da perseguire è la definizione dei livelli di accelerazione al suolo, corrispondenti agli stati limite definiti al punto 11.2 all. 2 OPCM per i ponti a struttura portante in cemento armato, e definiti al punto 11.5 all. 2 OPCM per i ponti a struttura portante in muratura.

E richiesta l'attribuzione ad una delle categorie di suolo descritte nell'allegato 3 della OPCM, sulla base di studi esistenti e delle carte geologiche disponibili e, se necessario, di indagini geognostiche in sito del tipo descritto nei paragrafi B.3 e B.5.

Il livello "1" di verifica e acquisizione dati si applica ai ponti a travata che possano essere definiti "REGOLARI" e che non siano stati attribuiti a categorie di suolo S1 o S2 (definite al punto 5.1 dell'all. 3 OPCM) e che non siano realizzati su corpi franosi.

L'acquisizione dei dati secondo le verifiche di livello "1" è svolta secondo un livello di conoscenza limitato; a tal fine è sufficiente che vengano effettuate le prove e verifiche in situ secondo quanto indicato per il livello di conoscenza LCI previsto al punto 11 all. 2 OPCM.

Di seguito si va ad indicare le modalità per effettuare le verifiche di livello "1" nei casi di ponti a travata a struttura in c.a./c.a.p. e muratura.

Le procedure succitate possono essere facilmente estese anche al caso di ponti a travata a struttura verticale (spalle, pile, ecc.) in muratura ed impalcati in cemento armato.

### **C.1.1.1 Ponti a travata in cemento armato. Modalità di analisi e verifica. (L1)**

Si ricorrerà all'analisi semplificata secondo il punto 7.2 all. 3 OPCM, pur essendo ovviamente consentito utilizzare l'analisi modale completa con spettro di risposta (punto 7.1 all. 3).

È consentito considerare separatamente le azioni nelle tre direzioni principali, utilizzando i metodi di combinazione di cui al punto 5.3 dell'allegato 3 della OPCM, ma il modello del ponte deve essere tridimensionale.

La rigidezza degli elementi deve essere valutata secondo quanto indicato al punto 6 all. 3, tenendo conto dell'effettivo stato di fessurazione degli elementi.

Le verifiche di sicurezza devono essere effettuate per ogni elemento strutturale secondo quanto indicato ai punti 11.2.6.1 e 11.3.2 dell'all. 2 della OPCM. In particolare si procederà come segue:

- 1) si calcoleranno per ogni elemento strutturale i valori di "resistenza" (a presso-flessione, flessione, taglio per gli elementi strutturali; a trazione e compressione per i nodi non confinati; la forza orizzontale massima che può essere trasmessa dagli appoggi fissi; lo spostamento massimo consentito dagli appoggi mobili) tenendo conto oltre che dei criteri previsti al punto 11.2.6.1 dell'all. 2 anche di quanto indicato al punto 8 dell'all. 3 e al punto 5 dell'all. 2 della OPCM;
- 2) si calcoleranno per ogni livello i valori di rotazione rispetto alla corda in condizioni di collasso, di danno severo e di danno limitato (punto 11.3.2.1 dell'all. 2 della OPCM);
- 3) si calcolerà il valore dell'accelerazione massima al suolo che provoca il primo collasso a taglio o a flessione o a presso-flessione, o il collasso di un nodo o il raggiungimento della forza orizzontale massima che può essere trasmessa dagli appoggi fissi o il raggiungimento dello spostamento massimo consentito dagli appoggi mobili o il raggiungimento della rotazione ultima ad un livello ( $PGA_{CO}$ );
- 4) si calcolerà il valore dell'accelerazione massima al suolo che provoca il raggiungimento della rotazione di danno severo ( $PGA_{DS}$ );
- 5) si calcolerà il valore dell'accelerazione massima al suolo che provoca il raggiungimento della rotazione di snervamento ( $PGA_{DL}$ ).

### **C.1.1.2 Ponti a travata a struttura in muratura. Modalità di analisi e verifica.**

Si procederà alle verifiche ricorrendo a rilievo sommario e a verifiche in situ limitate (punto 11.5.2 dell'all. 2 della OPCM). In particolare Dovranno essere verificati i dettagli costruttivi descritti al punto 11.5.2.2 all. 2, indicando in modo esplicito l'eventuale non rispondenza a uno dei punti da a) ad e).

Si verificherà preliminarmente l'eventuale rispondenza alla definizione di ponte semplice.

Si definiscono "ponti semplici" quelli che rispettano le caratteristiche descritte nel seguito, oltre a quelle di "Regolarità" definite al paragrafo 1 del presente allegato oltre a quelle definite ai punti 8.2.3 e 8.3.3 dell'all. 2 della OPCM (rispettivamente per ponti in muratura ordinaria e in muratura armata)

- Le pareti strutturali del ponte siano continue dalle fondazioni alla sommità del ponte.
- In ciascuna delle due direzioni e all'interno di ciascuna pila/spalla siano previsti almeno due sistemi di pareti di lunghezza complessiva, al netto delle aperture, ciascuno non inferiore al 50% della dimensione della pila/spalla nella medesima direzione. Nel conteggio della lunghezza complessiva potranno essere inclusi solamente setti murari che rispettano i requisiti geometrici della tabella 8.1 dell'all. 2 della OPCM. La distanza tra questi due sistemi di pareti in direzione ortogonale al loro sviluppo longitudinale in pianta sia non inferiore al 75% della dimensione della pila/spalla nella medesima direzione (ortogonale alle pareti). Almeno il 75% dei carichi verticali sia portato da pareti che facciano parte del sistema resistente alle azioni orizzontali.
- All'interno di ciascuna pila/spalla ed in ciascuna delle due direzioni siano presenti pareti resistenti alle azioni orizzontali con interasse non superiore a 7,00 m elevabili a 9,00 m per ponti in muratura armata.
- All'interno di ciascuna pila/spalla devono essere presenti impalcati intermedi in maniera tale che nessuna altezza di interpiano sia superiore a 3.50 m.
- Le pareti ortogonali siano tra loro ben collegate.
- I solai siano ben collegati alle pareti.
- Tutte le aperture siano dotate di architravi dotati di resistenza flessionale.
- Tutti gli elementi spingenti eventualmente presenti siano dotati di accorgimenti atti ad eliminare o equilibrare le spinte orizzontali.

- Non vi siano elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità.
- Le murature non siano a doppio paramento o a sacco, ed in generale di cattiva qualità e scarsa resistenza.

Si ricorrerà all'analisi semplificata secondo il punto 7.2 dell'all. 3 della OPCM, pur essendo ovviamente consentito utilizzare l'analisi modale completa con spettro di risposta (punto 7.1 all. 3 OPCM).

È consentito considerare separatamente le azioni nelle tre direzioni principali, utilizzando i metodi di combinazione di cui al punto 5.3 dell'all. 3, ma il modello del ponte deve essere tridimensionale.

Le rigidezze degli elementi murari saranno calcolate considerando sia il contributo flessionale sia quello tagliante. L'utilizzo di rigidezze fessurate è da preferirsi. In assenza di valutazioni più accurate le rigidezze fessurate potranno essere assunte pari alla metà di quelle non fessurate.

La resistenza di ogni elemento strutturale resistente al sisma dovrà essere valutata per ognuna delle seguenti sollecitazioni: presso-flessione, taglio nel piano della parete, presso-flessione fuori piano. Dovrà essere comunque considerata la sollecitazione di presso-flessione fuori del piano per tutte le pareti aventi funzione strutturale, in particolare quelle portanti carichi verticali, anche quando non considerate resistenti al sisma in base ai requisiti di tabella 8.1 all. 2 OPCM.

Le modalità di verifica sono descritte ai punti 8.2.2 e 8.3.2 dell'allegato 2 della OPCM (rispettivamente per la muratura ordinaria e la muratura armata) con le integrazioni previste al punto 11.5.8 dell'all. 2 OPCM.

In particolare si procederà come segue:

- 1) si calcoleranno per ogni elemento strutturale i valori di "resistenza" (a presso-flessione, a taglio e a presso-flessione fuori piano per gli elementi strutturali; la forza orizzontale massima che può essere trasmessa dagli appoggi fissi; lo spostamento massimo consentito dagli appoggi mobili) tenendo conto oltre che dei criteri previsti ai punti 8.2.2 e 8.3.2 integrati dal punto 11.5.8 dell'all. 2 anche di quanto indicato al punto 8 dell'all. 3 della OPCM;
- 2) si calcoleranno per ogni pannello murario i valori di deformazione corrispondenti agli stati limite di danno (punto 4.11.2 all. 2 in cui "h" è la distanza "in verticale" tra due impalcati consecutivi della pila/spalla), ed ultimo, in funzione della modalità di collasso (punti 8.2.2.1, 8.2.2.2 e 8.2.2.3 integrati dal punto 11.5.8 dell'all. 2 della OPCM);
- 3) si calcolerà il valore dell'accelerazione massima al suolo che provoca il raggiungimento

della resistenza fuori piano in un pannello o il raggiungimento della forza orizzontale massima che può essere trasmessa dagli appoggi fissi o il raggiungimento dello spostamento massimo consentito dagli appoggi mobili ( $PGA_{DS}$ );

- 4) si calcherà il valore dell'accelerazione massima al suolo che provoca il raggiungimento della resistenza nel piano o della deformazione di danno in un pannello ( $PGA_{DL}$ ).

## **C.1.2 Verifiche Tecniche di Livello "2"**

L'obiettivo da perseguire è la definizione di una curva di capacità globale forza-spostamento, con la conseguente definizione dei livelli di accelerazione al suolo, corrispondenti agli stati limite definiti al punto 11.2 all. 2 OPCM per i ponti a struttura portante in cemento armato e definiti al punto 11.5 all. 2 OPCM per i ponti a struttura portante in muratura.

È richiesta l'attribuzione ad una delle categorie di suolo descritte nell'all. 3 della OPCM, tramite indagini geologiche e geotecniche in-situ oltre che sulla base di studi esistenti e delle carte geologiche disponibili.

Il livello "2" di verifica e acquisizione dati si applica in tutti i casi di ponti a travata in cui non è possibile limitarsi alle verifiche di livello "1 "

Prima di procedere a verifiche di livello "2" è in ogni caso necessario procedere a verifiche di livello "1", almeno per quanto riguarda l'effettuazione di analisi lineari.

Nelle verifiche di livello "2" è richiesta l'analisi statica non lineare secondo quanto previsto al punto 4.5.4 dell'allegato 2 della OPCM, con le variazioni che di seguito si vanno a specificare per le diverse tipologie strutturali.

Il ricorso all'analisi lineare è consentito alle condizioni descritte al punto 11.2.5.4 all. 2 della OPCM e a condizione che il rapporto domanda/capacità sia uniforme per i diversi elementi, che la domanda sia contenuta entro limiti accettabili per ogni elemento e che i collassi di tipo fragile siano impediti.

L'acquisizione dei dati secondo le verifiche di livello "2" è svolta secondo un livello di conoscenza approfondito; a tal fine è sufficiente che vengano effettuate le prove e verifiche in situ secondo quanto indicato per il livello di conoscenza LC2 previsto al punto 11 dell'allegato 2 della OPCM.

Nei successivi punti sono indicate le modalità per effettuare le verifiche di livello "2" nei casi di ponti a travata a struttura in cemento armato e, rispettivamente, in muratura; le procedure previste nei citati paragrafi possono essere facilmente estese anche al caso di ponti a travata a struttura verticale (spalle, pile, ecc.) in muratura ed impalcati in cemento armato.



**C.1.2.1      Ponti a travata a struttura in cemento armato.**  
**Modalità di analisi e verifica. (L2)**

È consentito considerare separatamente le azioni nelle due direzioni principali orizzontali. Gli effetti delle azioni applicate separatamente dovranno essere combinati sommando, ai massimi ottenuti per l'azione applicata in una direzione, il 30 % dei massimi ottenuti per l'azione applicata nell'altra direzione. In ogni caso il modello di analisi del ponte deve essere tridimensionale.

La rigidezza degli elementi deve essere valutata secondo quanto indicato al punto 6 dell'all. 3 della OPCM, tenendo conto dell'effettivo stato di fessurazione degli elementi.

Si procederà secondo quanto indicato al punto 4.5.4 dell'all. 2, utilizzando le distribuzioni alternative delle forze indicate al punto 4.5.4.2 dell'all. 2, ovvero ricorrendo ai metodi evolutivi di cui al punto 4.5.4.1 dell'all. 2 della OPCM.

Per ogni elemento strutturale si calcoleranno i valori di "resistenza" (a presso-flessione, flessione, taglio per gli elementi strutturali; a trazione e compressione per i nodi non confinati; la forza orizzontale massima che può essere trasmessa dagli appoggi fissi; lo spostamento max consentito dagli appoggi mobili) tenendo conto oltre che dei criteri previsti al punto 11.2.6.1 dell'all. 2 della anche di quanto indicato al punto 8 dell'all. 3 e al punto 5 dell'all. 2 della O.P.C.M. 3274.

Per ogni livello si calcoleranno i valori di rotazione rispetto alla corda in condizioni di collasso, di danno severo e di danno limitato (punto 11.3.2.1 dell'allegato 2).

Sulla curva generalizzata forza-spostamento dovranno essere identificati i punti corrispondenti alle seguenti situazioni:

- 1) il primo collasso a taglio o a flessione o a presso-flessione, o il collasso di un nodo o il raggiungimento della forza orizzontale massima che può essere trasmessa dagli appoggi fissi o il raggiungimento dello spostamento massimo consentito dagli appoggi mobili o il raggiungimento della rotazione ultima ad un livello (stato limite di collasso - CO);
- 2) il raggiungimento della rotazione di danno severo (stato limite di danno severo - DS);
- 3) il raggiungimento della rotazione di snervamento (stato limite di danno lieve - DL).

La curva di capacità dovrà essere confrontata con opportuni spettri di risposta elastica eventualmente corretti con un valore appropriato del fattore  $\eta$  in funzione delle capacità dissipative corrispondenti a ciascun stato limite.

L'intersezione della curva di capacità con gli spettri consentirà di calcolare i valori di accelerazione al suolo corrispondenti ai tre stati limite di interesse ( $PGA_{CO}$ ,  $PGA_{DS}$ ,  $PGA_{DL}$ ).

### **C.1.2.2 Ponti a travata a struttura in muratura. Modalità di analisi e verifica. (L2)**

Si procederà alle verifiche ricorrendo a rilievo completo e verifiche in situ estese (punto 11.5.2 dell'all. 2 della OPCM).

Dovranno comunque essere verificati i dettagli costruttivi descritti al punto 11.5.2.2 dell'all. 2 della OPCM, indicando in modo esplicito l'eventuale non rispondenza a uno dei punti da a) ad e).

Si ricorrerà all'analisi non lineare statica, secondo quanto descritto al punto 8.1.5.4 dell'all. 2, allo scopo di produrre una curva di capacità globale forza-spostamento.

È consentito considerare separatamente le azioni nelle due direzioni principali orizzontali; gli effetti delle azioni applicate separatamente dovranno essere combinati sommando, ai massimi ottenuti per l'azione applicata in una direzione, il 30 % dei massimi ottenuti per l'azione applicata nell'altra direzione. In ogni caso il modello di analisi del ponte deve essere tridimensionale.

Le rigidezze degli elementi murari saranno calcolate considerando sia il contributo flessionale sia quello tagliante.

L'utilizzo di rigidezze fessurate è da preferirsi. In assenza di valutazioni più accurate, le rigidezze fessurate potranno essere assunte pari alla metà di quelle non fessurate.

Si procederà secondo quanto indicato al punto 4.5.4 dell'all. 2 della OPCM, utilizzando le distribuzioni alternative delle forze indicate al punto 4.5.4.2 dell'all. 2, ovvero ricorrendo ai metodi evolutivi di cui al punto 4.5.4.1 dell'all. 2.

Per ogni elemento strutturale si calcoleranno i valori di "resistenza" (a presso-flessione, a taglio e a presso-flessione fuori piano per gli elementi strutturali; la forza orizzontale max che può essere trasmessa dagli appoggi fissi; lo spostamento max consentito dagli appoggi mobili) tenendo conto oltre che dei criteri previsti ai punti 8.2.2 e 8.3.2 integrati dal punto 11.5.8 dell'all. 2 anche di quanto indicato al punto 8 dell'all. 3 della stessa OPCM.

Si calcoleranno per ogni pannello murario i valori di deformazione corrispondenti agli stati limite di danno (punto 4.11.2 all. 2 in cui "h" è la distanza "in verticale" tra due impalcati consecutivi della pila/spalla), ed ultimo, in funzione della modalità di collasso (punti 8.2.2.1, 8.2.2.2 e 8.2.2.3 integrati dal punto 11.5.8 dell'all. 2 della OPCM).

Sulla curva generalizzata forza-spostamento dovranno essere identificati i punti corrispondenti alle seguenti situazioni:

- 1) il raggiungimento della resistenza fuori piano in un pannello o il raggiungimento della forza orizzontale max che può essere trasmessa dagli appoggi fissi o il raggiungimento dello spostamento massimo consentito dagli appoggi mobili (stato limite di danno severo - DS);

- 2) il raggiungimento della resistenza nel piano o della deformazione di danno in un pannello (stato limite di danno lieve - DL).

La curva di capacità dovrà essere confrontata con opportuni spettri di risposta elastica, eventualmente corretti con un valore appropriato del fattore  $\eta$  in funzione delle capacità dissipative corrispondenti a ciascun stato limite, con riferimento ai valori di spostamento definiti al punto 8.1.5.4 dell'all. 2 della OPCM.

L'intersezione della curva di capacità con gli spettri in spostamento definiti al punto 8.1.6 consentirà di calcolare i valori di accelerazione al suolo corrispondenti agli stati limite di interesse ( $PG_{ADS}$ ,  $PG_{ADL}$ ).

## **C.2. PONTI AD ARCO IN MURATURA**

Nei ponti ad arco, a causa della geometria e della generale distribuzione delle masse l'analisi semplificata prevista nelle verifiche di livello "1" non può essere applicata. Ne consegue che in tutti i casi di ponte ad arco sarà necessario ricorrere esclusivamente a verifiche di livello "2".

### **C.2.1 Verifiche Tecniche di livello "2"**

L'obiettivo da perseguire è la definizione dei livelli di accelerazione al suolo, corrispondenti agli stati limite definiti al punto 11.5 dell'all. 2 della OPCM.

È richiesta l'attribuzione ad una delle categorie di suolo descritte nell'allegato 3 della OPCM, tramite indagini geologiche e geotecniche in-situ oltre che sulla base di eventuali studi esistenti e delle carte geologiche disponibili.

Nelle verifiche di livello "2" è richiesta l'analisi modale completa con spettro di risposta secondo quanto previsto al punto 7.1 dell'all. 3 della OPCM.

L'acquisizione dei dati secondo le verifiche di livello "2" è svolta secondo un livello di conoscenza approfondito; a tal fine è sufficiente che vengano effettuate le prove e verifiche in situ secondo quanto indicato per il livello di conoscenza LC2 previsto al punto 11 dell'all. 2 della OPCM.

### **C.2.1.1 Ponti ad arco in muratura. Modalità di analisi e verifica**

Si procederà alle verifiche ricorrendo a rilievo completo e verifiche in situ estese (punto 11.5.2 dell'all. 2 della OPCM). Dovranno comunque essere verificati i dettagli costruttivi descritti al punto 11.5.2.2 all. 2, indicando in modo esplicito l'eventuale non rispondenza a uno dei punti da a) ad e).

Si effettuerà l'analisi modale completa con spettro di risposta secondo quanto previsto al punto 7.1 dell'all. 3. Le risposte modali saranno combinate secondo quanto previsto al punto 7.1.2.

È consentito considerare separatamente le azioni nelle tre direzioni principali; gli effetti delle azioni applicate separatamente dovranno essere combinati sommando, ai max ottenuti per l'azione applicata in una direzione, il 30 % dei max ottenuti per le azioni applicate nelle altre due direzioni. In ogni caso il modello di analisi del ponte deve essere tridimensionale.

Le rigidezze degli elementi murari saranno calcolate considerando sia il contributo flessionale che quello tagliante. L'utilizzo di rigidezze fessurate è da preferirsi; in assenza di valutazioni più accurate le rigidezze fessurate potranno essere assunte pari alla metà di quelle non fessurate.

La resistenza di ogni elemento strutturale resistente al sisma dovrà essere valutata per ognuna delle seguenti sollecitazioni: presso-flessione, taglio nel piano dell'elemento strutturale, presso-flessione fuori piano. Dovrà essere comunque considerata la sollecitazione di presso-flessione fuori del piano per tutti gli elementi aventi funzione strutturale, in particolare quelli portanti carichi verticali, anche quando non considerati resistenti al sisma in base ai requisiti di tabella 8.1 dell'all. 2 della OPCM.

Le modalità di verifica sono descritte ai punti 8.2.2 e 8.3.2 dell'all. 2 della OPCM (rispettivamente per la muratura ordinaria e la muratura armata) con le integrazioni previste al punto 11.5.8 dell'all. 2.

In particolare si procederà come segue:

- 1) si calcoleranno per ogni elemento strutturale i valori di "resistenza" (a presso-flessione, a taglio e a presso-flessione fuori piano per gli elementi strutturali; la forza orizzontale massima che può essere trasmessa dagli appoggi fissi; lo spostamento massimo consentito dagli appoggi mobili) tenendo conto oltre che dei criteri previsti ai punti 8.2.2 e 8.3.2,

integrati dal punto 11.5.8 dello stesso all. 2, anche di quanto indicato al punto 8 dell'all. 3 dell' OPCM;

- 2) si calcoleranno per ogni pannello murario i valori di deformazione corrispondenti agli stati limite di danno (punto 4.11.2 all. 2, in cui "h" è la distanza "in verticale" tra due impalcati consecutivi della pila/spalla), ed il momento ultimo, in funzione della modalità di collasso (punti 8.2.2.1, 8.2.2.2 e 8.2.2.3 integrati dal punto 11.5.8 dell'all. 2);
- 3) si calcolerà il valore dell'accelerazione massima al suolo che provoca il raggiungimento della resistenza fuori piano in un elemento strutturale o il raggiungimento della forza orizzontale massima che può essere trasmessa dagli appoggi fissi o il raggiungimento dello spostamento massimo consentito dagli appoggi mobili ( $PGA_{DS}$ );
- 4) si calcolerà il valore dell'accelerazione massima al suolo che provoca il raggiungimento della resistenza nel piano o della deformazione di danno in un elemento strutturale ( $PGA_{DL}$ ).

## **D) PREDISPOSIZIONE RAPPORTO FINALE**

Al termine delle attività descritte nei paragrafi precedenti, per gli edifici e ponti esistenti, dovrà essere predisposto un Rapporto Finale che, oltre a sintetizzare i risultati delle elaborazioni numeriche finalizzate alla valutazione della vulnerabilità, avrà le caratteristiche di un fascicolo del fabbricato contenente una serie di informazioni utili alla descrizione dell'edificio nella situazione attuale, all'approfondimento delle indagini, alla esecuzione di valutazioni della sicurezza sismica più accurata, alla progettazione di un intervento di rafforzamento, ai sensi della normativa vigente, e al monitoraggio nel tempo dell'opera.

Nel rispetto degli obiettivi appena individuati il Rapporto Finale sull'esito delle indagini e delle valutazioni di vulnerabilità dovrà contenere almeno i seguenti elementi:

- 1) Descrizione delle opere.
- 2) Rilevo fotografico delle opere: foto prospetti, particolari significativi, eventuali quadri fessurativi, zone degradate della struttura, saggi effettuati, ubicazione dei punti di ripresa.
- 3) Storia tecnico — amministrativa delle opere oggetto di verifica.
- 4) Caratteristiche dei materiali: risultati delle prove, distruttive e non distruttive, eseguite sui materiali strutturali (calcestruzzo, acciaio, muratura, legno, etc.), descrivendo preliminarmente le modalità di prova e la strumentazione utilizzata. I punti di prelievo dei campioni, così come i punti di misura delle prove non distruttive, debbono essere localizzati in pianta ed in elevazione, in appositi elaborati grafici riportati in allegato.
- 5) Metodo di analisi.
- 6) Modello adottato: descrizione del modello adottato (modello tridimensionale o bidimensionale, modellazione degli orizzontamenti, rigidità degli elementi considerate, caratteristiche dinamiche); indicazione e caratteristiche del software utilizzato.
- 7) Valutazione della vulnerabilità e del rischio sismico: sintesi dei risultati attraverso l'indicazione dei seguenti parametri:
  - PGA10% accelerazione al suolo attesa con probabilità 10% in 50 anni;
  - PGA50% accelerazione al suolo attesa con probabilità 50% in 50 anni;
  - $PGA_{DS}$  accelerazione stimata di danno severo;
  - $PGA_{DL}$  accelerazione stimata di danno limitato.

Dovranno essere forniti, inoltre, due parametri indicativi del livello di rischio, così definiti:

- Indicatore di rischio di collasso  $\alpha_u = PGA_{DS} / PGA_{10\%}$ .
- Indicatore di rischio di inagibilità  $\alpha_e = PGA_{DL} / PGA_{50\%}$

- 8) Giudizio qualitativo sulla valutazione di vulnerabilità.

Dovrà, infine, essere riportato un giudizio qualitativo di sintesi derivante dall'analisi degli altri fattori che influiscono sulla valutazione di vulnerabilità, fattori che condizionano sia la vulnerabilità d'insieme che quella delle parti non strutturali, così da fornire un quadro più completo della vulnerabilità dell'opera.

Pertanto a corredo del rapporto finale dovranno essere predisposti e forniti i seguenti allegati:

- ALLEGATO 1A. Copia cartacea (e, se possibile, su supporto digitale) dei documenti progettuali, esecutivi e di collaudo reperiti nel corso delle attività per la valutazione di vulnerabilità sismica previste ai paragrafi precedenti.
- ALLEGATO 1B. Elaborati grafici in formato cartaceo e digitale (dwg o dxf) realizzati nel corso dell'indagine, con documentazione fotografica ordinata e indicazione sulle piante dei punti di vista delle diverse fotografie. Apposite tavole con l'indicazione dei punti di sondaggio e delle prove eseguite nel corso delle indagini.
- ALLEGATO 1 C. 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 (Dipartimento della Protezione Civile - Ufficio Servizio Sismico Nazionale)

Il presente Allegato "Linee Guida" è composto da n° 32 facciate.

Il Dirigente di Settore  
(ing. Francesco Bitetto)