

IL RISCHIO SISMICO. VALUTAZIONE DEL DANNO E PROTEZIONE DI IMPIANTI E DI ELEMENTI NON STRUTTURALI: RASSEGNA DEGLI INDIRIZZI DI RICERCA.

Ing. Stefano Marsella - Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco
Ministero dell'interno, D.G.P.C.S.A. - Servizio Tecnico Centrale, Via Cavour 5 - 00184 Roma

Sommario

L'ingegneria sismica non si occupa esclusivamente di migliorare la sicurezza delle strutture e delle fondazioni, ma studia anche il comportamento dei sistemi impiantistici e produttivi, necessari ai fini della gestione dell'emergenza e della successiva fase di ritorno alla normalità. Soprattutto negli Stati Uniti sono stati sviluppati numerosi studi che hanno portato interessanti risultati anche a livello normativo, ma la redazione di manuali non ha esaurito il problema, imponendo invece la verifica *in situ* dei risultati ottenuti.

Illustrate le questioni di più immediata rilevanza nei settori del trasporto, distribuzione e stoccaggio di gas e liquidi pericolosi, della distribuzione di acqua, del trasporto e della distribuzione di energia elettrica, delle telecomunicazioni e degli insediamenti produttivi, si propongono alcuni indirizzi generali di ricerca propedeutici alla definizione dei requisiti prestazionali minimi da recepire nell'ordinamento normativo italiano.

1 Introduzione

L'energia che si sviluppa in concomitanza degli eventi sismici si manifesta in azioni che colpiscono, indifferentemente, le formazioni geologiche, le grandi opere infrastrutturali e gli edifici, interessando i manufatti e gli impianti che all'interno o all'esterno delle opere stesse sono stati installati per permetterne l'utilizzazione e rendervi possibile la vita di comunità di persone.

Una rilevante parte del mondo scientifico e tecnico, affrontando il tema dei terremoti, fino ad ora non ha lesinato sforzi nell'ampio settore della predizione del comportamento sismico delle strutture e, in tempi più recenti, nell'analogo studio relativo ai terreni ed alle fondazioni, lasciando come segno tangibile della propria opera una ricca bibliografia ed una altrettanto imponente mole di ricerche e di risultati teorici e sperimentali. A questo proposito, tra i numerosi indicatori che possono descrivere gli indirizzi di ricerca finora seguiti nell'ingegneria sismica, citeremo i lavori finanziati dalla Commissione Europea che, nell'abbracciare l'intero panorama dei Paesi membri dell'Unione, ha il pregio di rappresentarne la sensibilità del mondo tecnico e scientifico. L'elenco dei progetti di ricerca già finanziati dalla Commissione stessa mette in evidenza come le proposte pervenute, e riconosciute di qualche interesse, coinvolgono esclusivamente gli aspetti strutturali o geotecnici. Prendendo in esame i venti progetti più recenti (Tabella 1), si constata come siano toccati i temi della modellazione del comportamento di strutture e terreni, della validazione dei risultati di tali modelli, fino agli studi di rassegna sul panorama dell'ingegneria strutturale classica, mentre nessuno di tali studi si indirizza verso gli effetti sismici su manufatti non strutturali ed impianti.

Per mettere in luce la mancanza di riferimenti cui si trova a fare fronte chi in Italia (ma la situazione del resto dell'Europa non è molto diversa) intenda approfondire il tema appena introdotto, si porta l'ulteriore elemento della scarsa disponibilità di dati empirici, quali quelli riferiti all'immediatezza del post terremoto. Tale lacuna è evidente nei questionari in uso per la rilevazione degli effetti dei terremoti (curati dal Servizio Sismico Nazionale – Gruppo Nazionale Difesa Terremoti), i cui modelli utilizzati non presentano, se non indirettamente, alcuna voce che permetta di dedurre il livello di danneggiamento che l'azione sismica ha determinato su elementi che non siano strutturali. In altre parole, dai modelli attualmente usati non possono emergere informazioni circa il fuori servizio di attività produttive (a meno che queste non abbiano subito effetti sulle strutture), nè sui danni alle linee di comunicazione, alla fornitura dell'energia elettrica e dell'acqua potabile: tali informazioni, al momento, rimangono confinate alle notizie di stampa.

Da quanto emerge, l'importanza dei sistemi impiantistici ai fini della vivibilità del territorio e degli edifici risulta essere un tema non sufficientemente approfondito. Nessuno potrebbe, infatti, negare che, senza le grandi opere di comunicazione, di trasporto di energia e di acqua o gli insediamenti produttivi, un territorio non è considerato abitabile, come d'altronde un edificio privo dei servizi impiantistici non lo può essere per legge. E se, in prima istanza, si può accettare la considerazione secondo cui, perché si salvi il contenuto di un edificio, in primo luogo dovrà esserne garantita la sicurezza delle strutture, l'esperienza maturata anche in episodi recenti ci dimostra come gran parte di disagi che la popolazione di un'area subisce, sia nel breve che nel medio periodo, sono strettamente correlati ai danni ad impianti ed infrastrutture. In mancanza di dati

ufficiali si deve fare ricorso alla memoria per ricordare come la crisi delle centraline telefoniche, la mancata erogazione di acqua (o il sospetto che questa non garantisca le condizioni di potabilità) e di energia elettrica contribuiscano a rendere ancora più oscuro un quadro che, per le persone colpite, è già buio. Inoltre, nel medio termine, la totale mancanza di elementi di protezione (che non siano puramente strutturali) degli insediamenti produttivi, contribuisce ad allungare i tempi per il recupero della normalità e della serenità di vita. Anche a questo proposito si deve fare ancora ricorso alle notizie di stampa, che hanno riferito del fermo di impianti industriali dell'area umbro-marchigiana che, seppur non danneggiati in modo catastrofico, hanno subito lunghi periodi di inattività.

A fronte delle considerazioni appena esposte, in merito alle quali ho rintracciato alcune eccezioni ([1] e [2]), si intende sottolineare in questa sede l'aumento della sensibilità dell'opinione pubblica nei confronti della gestione dell'emergenza e le accresciute aspettative di miglioramento di qualità e sicurezza da parte dei sistemi di protezione. Se a queste considerazioni aggiungiamo che la legislazione italiana recente ha posto come prioritario il tema della sicurezza dei sistemi impiantistici, si può concludere che, anche nel settore sismico, è divenuto urgente dare attuazione ad un piano di ricerca coordinato.

2 I settori di interesse della ricerca

Per esporre in maniera completa una rassegna che non presume di rappresentare il quadro complessivo del settore, si utilizzerà una suddivisione degli indirizzi di ricerca secondo argomenti omogenei. Tale suddivisione, peraltro, non è l'unica possibile: accanto all'identificazione dei singoli sistemi funzionali, è infatti possibile trattare del macrosettore delle *lifelines*, intendendo con tale termine le infrastrutture su cui si trasportano l'energia, le informazioni, ed i prodotti necessari per le funzioni vitali di una comunità. Per una rappresentazione essenziale ma completa delle problematiche specifiche non si può prescindere dall'analisi, esposta in [16], che meriterebbe un'attenta ponderazione sia da parte del mondo tecnico-scientifico che di quello che ha responsabilità di gestione dell'emergenza. Avendo, però, adottato una suddivisione per sistemi impiantistici funzionali, nel seguito della trattazione si esporranno in estrema sintesi i principali problemi nei riguardi degli impianti di trasporto, distribuzione e stoccaggio di fluidi pericolosi, di trasporto e distribuzione dell'energia elettrica, di distribuzione dell'acqua, di telecomunicazione e di produzione industriale o di utilizzazione civile, come gli impianti elevatori. A tali settori ritengo essenziale aggiungere quello dei manufatti non strutturali afferenti sia i cosiddetti "edifici sensibili" che il patrimonio storico-artistico-culturale, che riveste nel nostro Paese un'importanza strategica.

2.1 Impianti di trasporto, distribuzione e stoccaggio di fluidi pericolosi

In Italia, anche a seguito dell'attuazione di alcune direttive comunitarie, il quadro regolamentare e normativo finalizzato a tutelare le popolazioni dagli impianti a rischio di incidente rilevante è abbastanza dettagliato e comprende, tra le altre cose, l'identificazione di quelle sostanze il cui rilascio incontrollato può dare luogo a pericoli per quanto riguarda la tossicità o i rilasci di energia. Tra i vari rischi ipotizzabili esiste anche quello sismico, e sarebbe quindi lecito attendersi che analisi specifiche siano state al riguardo svolte e possibilmente recepite a livello normativo: poiché non risulta che tale opera sia stata condotta, si includerà l'intero settore nel panorama più generale degli insediamenti che, indipendentemente dalle soglie soggette ai controlli di sicurezza parte degli Organi pubblici, dovrebbero portare a termine le valutazioni di rischio. In tale ambito, infatti, le disposizioni vigenti impongono di individuare tutti i pericoli connessi ad impianto e, trattando le installazioni tecnologiche presenti nel territorio italiano, non si può fare a meno di sottolineare come l'estensione territoriale del rischio sismico anche nella gestione delle sostanze pericolose, non abbia stimolato le necessarie considerazioni. Attingendo, per i motivi appena descritti, dal materiale estero disponibile, si constata come la letteratura presenti un discreto elenco di pubblicazioni, di codici e di raccomandazioni in grado di coprire uno spettro estremamente vasto di installazioni. Tale materiale risulta prevalentemente realizzato sulla scorta di osservazioni, piuttosto che oggetto di ricerche specifiche. In ogni caso, la consistenza della bibliografia permette di tratteggiare alcuni degli aspetti che possono immediatamente essere presi in considerazione dalla normazione.

Per quanto riguarda le linee di trasporto dei fluidi e dei gas, appare evidente [3] come fino ad ora i meccanismi di rottura delle tubazioni siano stati individuati sulla base delle esperienze osservate di volta in volta nei siti interessati, mentre analisi di laboratorio sul comportamento delle tubazioni sono state condotte al fine di determinarne i valori di resistenza a rottura [4]. Tale impostazione si traduce nella definizione di valori di resistenza degli elementi che sono poi accettati e recepiti nelle norme di prodotto. Proprio perché questo metodo non soddisfa gli operatori, sono stati studiati algoritmi di valutazione delle deformazioni del terreno,

la cui principale utilità consiste nel dare un giudizio indicativo sulla sicurezza del manufatto piuttosto che specificare le probabilità di guasto del sistema. Un ulteriore passo in avanti potrà essere compiuto approfondendo alcune linee di sviluppo, basate su metodi ritenuti particolarmente promettenti come, ad esempio, la teoria delle onde elastiche [10]. Tali indirizzi possono essere riassunti nell'individuazione dei fattori di sicurezza da considerare, nella determinazione delle forze esterne di progetto, nella individuazione delle caratteristiche di propagazione delle onde in terreni topograficamente irregolari, nell'analisi dettagliata dei danni subiti a seguito di terremoti e nella definizione della probabilità di guasto delle strutture a causa dei moti dovuti ad onde elastiche.

Per quanto riguarda i serbatoi, le esperienze maturate hanno portato a definire alcune raccomandazioni di sicurezza che conducono a verifiche analitiche di più facile accettazione: i serbatoi stessi, infatti, presentando comportamenti più vicini a quelli delle strutture oggetto della tradizionale ingegneria sismica, sono stati oggetto di misure direttamente mutate da quest'ultima [4]. In ogni caso, non possono essere trascurati alcuni contributi sui sistemi di isolamento sismico dei grandi serbatoi e delle strutture più critiche [9] finalizzati a dare risposte ai problemi specifici di tali manufatti.

Anche se non immediatamente evidente, inoltre, non si può trascurare che l'integrità delle strutture di controllo e dei manufatti di supporto è essenziale per la sicurezza e per la gestione dell'emergenza. Tale aspetto è stato analizzato sulla scorta delle esperienze vissute in diversi impianti, e, tra i temi oggetto delle raccomandazioni, si ricorda come sia preminente quello della scelta corretta dell'ancoraggio dei manufatti e delle apparecchiature presenti [5].

2.2 impianti di trasporto e distribuzione dell'energia elettrica

Il problema del trasporto e della distribuzione dell'energia elettrica presenta almeno due aspetti di immediata importanza ai fini della gestione dell'emergenza sismica: in primo luogo la sicurezza delle persone, che può essere messa in pericolo dalla caduta di elementi in tensione, con i conseguenti rischi di elettrocuzione e di incendio (si ricorda, a questo proposito, il caso di Kobe e degli incendi sviluppatasi a seguito del terremoto), mentre un secondo punto, di pari importanza, riguarda la continuità di erogazione dell'energia elettrica, necessaria sia nelle prime fasi dell'emergenza per agevolare l'opera dei soccorritori che nel periodo successivo al sisma, quando le popolazioni iniziano a tornare alla normalità e la presenza dell'energia elettrica diviene sostanziale per poter effettivamente recuperare le condizioni di vita e di lavoro precedenti.

Per esporre in modo completo il problema, si dovrebbe trattare in primo luogo il tema della protezione sismica delle centrali di produzione, senza l'efficienza delle quali non sussistono nemmeno i problemi di trasporto e di distribuzione. Tale tema, già analizzato in modo abbastanza dettagliato, esula dalla presente illustrazione, che è finalizzata a mettere in luce quanto ancora deve essere sviluppato in materia di sicurezza sismica. Passando ai sistemi di trasmissione elettrica, conviene analizzarne quattro sottosistemi, le sottostazioni, le linee di trasmissione, i sistemi di distribuzione e le strutture di controllo. Le problematiche di tipo sismico di maggior interesse possono essere rintracciate nelle sottostazioni, che a loro volta, possono essere suddivise in varie parti, secondo i tipi di danno che i singoli componenti subiscono. Per quanto riguarda le parti strutturali e di fondazione è sufficiente la realizzazione in conformità alle disposizioni di sicurezza sismica, circostanza che dovrebbe evitare i fenomeni di allentamento degli ancoraggi o addirittura di caduta ai quali a volte si è assistito.

Sui trasformatori, si ricordano in questa sede i problemi legati alla difficoltà di mantenere i collegamenti di cavi e tubazioni e dei moti reciproci con la conseguente necessità di provvedere ad un approfondito studio sui requisiti minimi da garantire. È interessante notare che le raccomandazioni statunitensi ricordano la necessità di far calcolare gli elementi di rinforzo da esperti nell'ingegneria sismica. Circa gli interruttori e gli altri dispositivi non sono state invece evidenziate, dal materiale analizzato, problematiche specifiche in ordine alle sollecitazioni sismiche ed ai problemi indotti sui singoli elementi. A questo proposito, anche se di scarso interesse scientifico per l'eccessiva eterogeneità dei dati, è interessante scorrere la matrice dei danni prodotta ad F.Yokel (tabelle 2 e 3), raccogliendo le informazioni disponibili su dieci terremoti verificatisi tra gli anni '20 e gli anni '90. In particolare, si segnala l'elevato numero di casi in cui sono stati registrati la rottura degli isolatori in porcellana e l'eccessivo spostamento relativo tra le parti, gli spostamenti dei quadri e degli interruttori e la rottura di interruttori e contattori. Più rara è stata la rottura di altri elementi dei vari sistemi presenti. Per quanto riguarda i tralicci, il buon comportamento sismico è da attribuire al fatto che la loro frequenza naturale nella modalità di vibrazione orizzontale è bassa, circostanza che si traduce in una resistenza molto maggiore al sisma in quanto i carichi per vento rendono necessario garantire prestazioni notevolmente più elevate. Frequente, inoltre, è stato il danneggiamento alle fondazioni dei tralicci stessi, ed

anche abbastanza comune il danneggiamento agli isolatori, mentre è appena il caso di ricordare i danni indotti da tale fenomeno, che tipicamente determina guasti ad apparecchiature molto più costose come trasformatori ed interruttori.

Un ulteriore problema riguarda gli impianti installati negli edifici “sensibili” (cioè quelli la cui efficienza è ritenuta di prima necessità durante l'emergenza). Sarebbe forse scontato ricordare l'importanza della continuità di erogazione dei servizi negli ospedali e negli edifici adibiti a centro di coordinamento e di raccolta in caso di calamità se non si dovesse registrare al riguardo un'evidente lacuna nelle specifiche norme italiane e comunitarie. Anche in questi edifici, pertanto, finché non si registrerà un aumento di sensibilità e di interesse da parte del legislatore, le prestazioni in caso di emergenza potranno essere garantite solo dallo scrupolo e dalla perizia professionale dei singoli progettisti.

2.3 Impianti di distribuzione dell'acqua

La mancanza di acqua costituisce in caso di calamità uno dei problemi di maggiore rilevanza. Che si tratti di esigenze igieniche delle singole persone o di necessità sanitarie (ad esempio pazienti in dialisi) o dei sistemi antincendio, è immediato valutare quale sia la vulnerabilità della collettività nei riguardi di sistemi ramificati ed estesi come quello di distribuzione dell'acqua. Meno evidente, ma di uguale criticità, è la continuità di fornitura per i centri di elaborazione dati e di telecomunicazione, per il funzionamento dei quali il controllo di temperatura ed umidità è essenziale. Per approfondire la conoscenza dei disagi che tale problema può creare, basta scorrere i dati relativi al terremoto dell'area di Kobe del 1992. In tale occasione i danni riguardarono sia le condotte adduttrici primarie che quelle secondarie di distribuzione [16], e l'analisi dei danni ha portato a rilevare che la maggior parte delle condutture danneggiate erano di piccolo diametro, e che i danni hanno interessato soprattutto i giunti. Inoltre, i danni ai sistemi gerarchicamente più importanti hanno costituito, nella fase della riparazione, un collo di bottiglia per la messa in esercizio dell'intera rete. Un buon comportamento al terremoto del sistema di distribuzione della rete di Kobe é invece dovuto alle molte ridondanze, e tale elemento potrebbe costituire motivo di riflessione anche per il caso italiano. Un'ultima notazione riguarda il fatto che, anche dopo le riparazioni, è risultato difficile capire se tutte le funzioni erano state ristabilite: dalla portata complessiva, infatti, non è stato possibile determinare univocamente tale informazione.

Sulla base delle esperienze di Kobe, sono stati adottati alcuni progetti finalizzati a migliorare il comportamento della rete, i cui punti più importanti sono finalizzati:

- al rafforzamento delle connessioni tra i sistemi cittadini contigui dotati di elevata capacità;
- all'identificazione di obiettivi di ristrutturazione mirati ai malfunzionamenti verificatisi;
- alla realizzazione di misure di fornitura supplementare di acqua basate sulle stime dei numeri di giorni stimati senza fornitura di acqua, tenendo conto del volume dei serbatoi e della distanza da percorrere per l'approvvigionamento.

Per quanto riguarda la realtà italiana, il tema specifico deve essere affrontato partendo dalla consapevolezza delle condizioni e dell'età della maggior parte della rete di distribuzione. Comunque, tenendo conto delle differenze nel tipo di antropizzazione presente in Giappone, si ritiene che le esperienze ivi maturate possano essere utilmente studiate per apportare i necessari adeguamenti alla rete delle principali città italiane.

2.4 Impianti per le telecomunicazioni

Gran parte delle attività vitali di una società sono legate alle comunicazioni e questa considerazione, da sola, basterebbe a giustificare la necessità di approfondire il tema della protezione sismica. Inoltre, i sistemi di telecomunicazione sono essenziali per lo svolgimento delle operazioni di soccorso moto e la disponibilità in tempi brevi di tutti i canali di comunicazione è importante anche per un rapido ritorno alle attività lavorative. Purtroppo la messa in atto delle misure per garantire prestazioni accettabili nei confronti delle azioni sismiche incontra alcune difficoltà in quanto il discreto comportamento che tali sistemi presentano di fronte ai terremoti di lieve entità induce i gestori a trascurare di affrontare il tema della protezione sismica a qualsiasi livello [8]. Le valutazioni costo-benefici, infatti, portano a ritenere non paganti gli investimenti finalizzati a proteggere i sistemi da eventi di maggiore entità, evidentemente abbastanza rari da non interessare una programmazione di carattere imprenditoriale. E' ovvio invece che, in un'ottica finalizzata a garantire l'efficienza del sistema di protezione civile e di gestione delle emergenze, dovrebbe essere imposta qualche sorta di protezione anche dai danni causati dagli eventi più rari e catastrofici. Basti ricordare a questo proposito l'esperienza del sisma che nel settembre 1985 ha colpito Città del Messico, nel quale la distruzione della principale centrale telefonica ha interrotto le comunicazioni ordinarie con il resto del mondo per un lungo periodo, rendendo ancora più critico

il coordinamento degli interventi di soccorso dall'estero. Altre esperienze, meno drammatiche ma più frequenti, hanno mostrato come i tempi di sostituzione o di riparazione delle centrali telefoniche danneggiate, in alcuni casi hanno richiesto diversi mesi, e che, oltre alle singole apparecchiature, la complessità stessa della rete espone il sistema ad un livello di protezione generalmente basso.

Del generico sistema di telecomunicazioni si può esaminare il comportamento sismico almeno sotto due aspetti: un primo, che analizza il tipo di misure che devono essere previste per fronteggiare l'emergenza ed un secondo, che studia i danni generati dal sisma agli elementi fisici e le relative misure di protezione. Per quanto riguarda il primo, sul quale anche in Italia si possono rintracciare esperienze di rilievo, un'organizzazione efficiente dovrebbe prevedere la possibilità di mettere a disposizione del pubblico i mezzi per alleviare la congestione di traffico, e per far comunicare con l'esterno le persone compite dall'evento. A questo proposito è interessante la dettagliata analisi [14] compiuta in Giappone a partire dai terremoti degli anni sessanta.

Analizzando, invece, i componenti fisici dei sistemi, conviene distinguere fra le infrastrutture di distribuzione (tutto ciò che trasporta i messaggi) e gli edifici: mentre le prime non sono particolarmente vulnerabili, i secondi e le apparecchiature che contengono, devono essere considerati soggetti ad un rischio elevato. Infatti, nel caso degli elementi che trasportano i messaggi, che si tratti di conduttori, di apparecchiature o di manufatti esterni agli edifici, i requisiti imposti per resistere alle sollecitazioni dovute al vento, ai carichi termici, agli urti ed alle vibrazioni da traffico, normalmente superano notevolmente quelli richiesti per le sollecitazioni sismiche. Diversa è la situazione degli edifici e delle apparecchiature che essi contengono. Se, infatti, è assodato che gli edifici sono realizzati in conformità alle norme di protezione sismica, non sempre saranno verificati i requisiti necessari perchè le parti strutturali non rechino danno ai sistemi installati all'interno, né si può dare per scontato che gli impianti e le apparecchiature siano correttamente ancorati e, ove necessario, isolati. A questo proposito, premesso che un rimedio di tipo generale è quello della ridondanza dei dispositivi, per quanto riguarda le nuove apparecchiature di smistamento, la computerizzazione ha ridotto notevolmente i rischi di danneggiamento in quanto ha ridotto le masse in gioco. Tale considerazione non si applica alle stazioni meno recenti, che, presentando importanti strutture meccaniche risultano vulnerabili alle sollecitazioni sismiche per la rottura o l'allentamento delle connessioni.

Per quanto riguarda i cavi di trasmissione che attraversano i locali in posizione sospesa al soffitto è necessario provvedere ad adeguati ancoraggi agli elementi portanti, in considerazione delle azioni indotte dalle sollecitazioni sismiche, mentre particolarmente critici risultano inoltre i locali delle batterie necessarie a garantire la continuità: gli elementi portanti su cui queste sono poste devono essere assicurati secondo modalità che potrebbero essere definite attraverso *standard* prestazionali.

Per i computer ed in generale i sistemi di elaborazione e archiviazione dei dati, la misura più facilmente attuabile è quella dell'installazione di sistemi di assorbimento delle sollecitazioni sismiche: dal momento alcuni sistemi sono già stati introdotti sul mercato ([12] e [13]), non dovrebbe essere difficile individuarne a livello prestazionale i requisiti minimi.

Un ultimo sistema, essenziale per la continuità del servizio dei centri di trasmissione, è quello del condizionamento dell'aria. E' noto che le apparecchiature devono operare in condizioni di temperatura ed umidità controllate e la garanzia che ciò si verifichi anche dopo un evento sismico è legata alla risposta di tali impianti alle sollecitazioni sismiche. Tra le altre cose, la specifica problematica si salda a quella della continuità di erogazione dell'acqua, trattata in una diversa sezione della presente relazione e, come le altre, dovrebbe essere oggetto di misure minime, imposte a livello normativo a salvaguardia di un servizio pubblico vitale come quello delle comunicazioni.

2.5 Elementi non strutturali afferenti il patrimonio storico-artistico-culturale.

Nella bibliografia esaminata è stato reperito sufficiente materiale per permettere di illustrare con adeguato dettaglio i punti di più immediato interesse ai fini della ricerca sismica sui sistemi tecnologici. Quasi assente, invece, è stato il contributo bibliografico relativo al patrimonio storico-artistico. Se si escludono, infatti, le ricerche portate avanti nel settore strutturale (ad esempio, le dettagliate analisi compiute a seguito dal recente terremoto umbro-marchigiano [17], [18] e [19]) non pare mai essere stato preso in esame il problema della salvaguardia dei beni contenuti in musei e negli edifici pregevoli per arte e storia, in palese contraddizione con il fatto che una legislazione particolarmente severa è messa in atto a tutela di questi stessi beni da tutti i tipi di rischio. Purtroppo, ritengo necessario dedicare a questo tema una specifica sezione della propria relazione, al fine di ricordarne l'importanza ed auspicando un sollecito risveglio di interesse da parte della comunità scientifica. Tra le altre cose, a differenza degli altri settori illustrati nella relazione, appare chiaro che uno sforzo di ricerca può essere attivato solo a partire dall'Italia. L'elevatissima concentrazione di opere d'arte presenti su un territorio largamente soggetto al rischio sismico [20], infatti, impone evidenti obblighi di

carattere etico nei riguardi delle future generazioni in rapporto alla conservazione dei beni stessi, e questa circostanza, tra l'altro, si integra pienamente con considerazioni di carattere economico. Basti ricordare, al riguardo, la flessione che l'attività turistica ha subito zone in cui non sono stati registrati danni di rilievo agli edifici di carattere storico, artistico e culturale.

2.6 Impianti produttivi

L'esperienza vissuta dalle popolazioni interessate dalla crisi sismica del settembre 1997 dimostra come non si possa immaginare il ritorno alla normalità prescindendo dal recupero delle attività lavorativa. In Italia la protezione sismica degli stabilimenti produttivi è impostata essenzialmente sulla verifica di conformità degli elementi strutturali e, in tale ottica, non sono mai stati presi provvedimenti finalizzati a garantire la continuità dell'attività produttiva, nonostante il fatto che la vitalità di una comunità, dopo un terremoto, dipenda in larga misura dalla capacità di recupero del settore produttivo. Tale considerazione, peraltro, porta ad ampliare il campo di interesse della protezione sismica, dal momento che un'attività lavorativa può tornare ai livelli ordinari solo quando il personale non deve affrontare i problemi generati dalla calamità stessa. Tornando al settore della protezione dei singoli stabilimenti, è scontato che le attività potranno essere garantite solo a condizione che l'alimentazione idrica ed elettrica, le telecomunicazioni e la viabilità non abbiano subito danni. Tale circostanza potrebbe essere parzialmente mitigata dalle opere preventive attuate dai privati stessi, quali ad esempio la realizzazione di gruppi di generazione elettrica autonomi e la creazione di riserve di acqua, ma è chiaro che interventi di questo tipo dovrebbero essere decisi in stretto coordinamento con gli Organi di Protezione Civile all'interno di una strategia complessiva di sicurezza che, riconoscendo i vantaggi economici di una efficiente gestione dell'emergenza, preveda i relativi obblighi e responsabilità anche in capo alla parte privata. In questo ambito, pertanto, non appare nemmeno improponibile ipotizzare forme di assicurazione che, tra l'altro, costituirebbero un incentivo al miglioramento del comportamento sismico dei sistemi produttivi. A questo proposito si può ricordare che, per quanto riguarda la tutela delle singole apparecchiature, sono già state sviluppate e validate alcune interessanti esperienze. Si ricordano ad esempio i sistemi di isolamento sismico sviluppati in Nuova Zelanda [22] o i test sulle valvole di blocco automatico [23], ma l'elencazione dei provvedimenti adottabili per i singoli tipi di attività renderebbe necessaria una trattazione separata ed, anzi, l'esame delle raccomandazioni accettate all'estero [24] potrebbe costituire il primo passo per l'elaborazione di una normativa nazionale in materia

2.7 Impianti elevatori

L'Italia ha in servizio un numero di ascensori paragonabile a quello di tutto il Nord America. Appare quindi di un certo interesse considerare anche l'aspetto del comportamento alle azioni sismiche di tali impianti, in considerazione del rischio al quale sono esposti gli utenti. Al riguardo, purtroppo, non pare che in Italia siano mai stati presi provvedimenti di rilievo, a differenza degli Stati Uniti dove, nelle zone sismiche, le raccomandazioni specifiche prevedono l'installazione di appositi dispositivi (nello Stato della California tali misure sono vigenti dal 1975). Sulla base di un accurato studio relativo al terremoto del 17 ottobre 1989 (Loma Prieta) [21] sono stati analizzati i danni subiti dagli impianti funzionanti nella zona colpita, la maggior parte dei quali era dotata dei dispositivi di protezione sismica. In particolare, il 16,7 % ha subito danni di qualche tipo. A seguito dei dati registrati, sono state stese alcune ulteriori raccomandazioni, ad integrazione delle misure precedentemente approvate, che si incentrano sul miglioramento della raccolta dei dati, sulle responsabilità degli installatori e dei manutentori, sulle procedure di controllo e sulla delicata problematica del salvataggio di persone disabili. L'aspetto più importante, però, è certamente quello che vede l'attuale livello di protezione, approvato con le raccomandazioni californiane, come una base per prevedere il successivo miglioramento della sicurezza sismica degli impianti

3 Gli indirizzi di ricerca

Nelle note precedenti sono state evidenziate le questioni che, per ogni settore, necessitano in via prioritaria di approfondimento. Cercando di riassumere gli elementi comuni che legano quanto appena illustrato, si possono elencare alcuni indirizzi di ricerca generali, dai quali non è possibile prescindere se si intende perseguire l'acquisizione di informazioni utilizzabili per lo sviluppo dei successivi *standard* prestazionali. In particolare, indipendentemente dal sistema impiantistico, la metodologia di ricerca dovrà tenere conto delle seguenti esigenze:

1- Modellazione del rischio sismico: dal momento che gli effetti sismici si manifestano con azioni provocate da movimenti del terreno, si rende necessario prevedere lo sviluppo di metodi analitici ed empirici per la quantificazione dei vari effetti, comprese le frane e la liquefazione del terreno. Analogamente, per la valutazione del rischio potenziale a grande scala, si rende necessario prevedere lo sviluppo dei relativi modelli;

2 - Modellazione di vulnerabilità dei componenti: acquisiti i dati relativi alle azioni esterne, devono essere sviluppati i modelli di vulnerabilità sismica per i singoli elementi dei sistemi, per le attrezzature e le apparecchiature;

3 - Criteri prestazionali di sistemi e componenti: stabilito il livello di rischio accettabile (operazione che può essere compiuta solo a livello regolamentare), dovranno essere resi disponibili criteri e misure in grado di verificare l'adeguatezza delle prestazioni dei componenti ai livelli richiesti;

4 - Rilevamento immediato dei danni post-terremoto: all'acquisizione dei dati rilevati *in situ* ed allo sviluppo delle relative metodiche sono affidati, in modo imprescindibile, importanti obiettivi quali la valutazione dei metodi di analisi sismica e di rilevamento dei danni, l'integrazione dei metodi di analisi e rilevamento dei danni e la dimostrazione dei metodi approntati.

4 Conclusioni

Il panorama illustrato mostra come, all'estero, siano già stati sviluppati studi sismici nel settore degli impianti tecnologici, studi che hanno condotto alla definizione di manuali e di raccomandazioni. Per chi, come la comunità scientifica italiana, si sta affacciando su questo settore, il primo obiettivo da perseguire è l'acquisizione di dati che rappresentino la situazione reale. Tali informazioni, che possono essere raccolte attraverso questionari da compilare nell'immediatezza del post-terremoto, dovrebbero essere in grado di rappresentare tutti gli aspetti afferenti gli impianti e gli stabilimenti produttivi.

Un secondo tema da approfondire riguarda la collaborazione e la condivisione di responsabilità fra Autorità pubbliche e mondo imprenditoriale. Infatti, essendo la ricerca finalizzata alla individuazione di misure tecniche in grado di alleviare le sofferenze delle popolazioni e di accelerare il ritorno alle attività produttive e tenendo conto che lunghi periodi di fermo possono condurre anche all'uscita dal mercato, alle imprese deve essere riconosciuta la necessità di proteggere le proprie strutture, garantendo quindi una più rapida ripresa della normalità e, implicitamente, anche una migliore gestione dell'emergenza. Tale circostanza, per servizi di particolare rilievo, dovrebbe essere sancita anche a livello normativo con l'adozione di norme di protezione sismica degli impianti la cui attuazione, al momento, è lasciata a valutazioni di carattere economico dei singoli operatori, anche quando i servizi sono di utilità essenziale per la collettività.

Un ulteriore elemento di riflessione consiste nel fatto che, nei Paesi in cui sono state sviluppate le ricerche, è viva la consapevolezza che la materia trattata è in divenire e che ogni evento sismico deve essere utilizzato come occasione per validare i risultati o per sottoporre le misure di sicurezza proposte a critica ed a miglioramento: gli *standard* accettati, negli Stati Uniti come anche in Giappone, sono considerati come linee guida da migliorare sulla base dei risultati prestazionali osservati, ed anche da questo dato si riconosce la necessità di dotare l'Italia di un sistema di raccolta dei dati specifici.

Per quanto riguarda la filosofia generale di ricerca su impianti tecnologici, si riassumono alcuni dei punti più rilevanti:

- la necessità di disporre in tempi brevi di un sistema completo di raccolta dei dati sui danni sismici, ai sistemi tecnologici e produttivi, sulla falsariga dei modelli già in uso per le strutture;

- l'opportunità di prevedere un approccio uniforme al problema dei sistemi destinati a trasporto, distribuzione e stoccaggio di combustibile, secondo linee guida che implementino quelle esistenti all'estero nei temi dell'ubicazione degli impianti a seguito di studi sismici, geologici e geotecnici;

- la necessità di verificare, con osservazioni su scenari reali, i risultati dell'applicazione delle disposizioni rintracciabili a livello internazionale sui sistemi impiantistici;

- la necessità di prevedere lo sviluppo di metodi di valutazione e la predisposizione di misure di adeguamento per l'impiantistica ed i manufatti non strutturali degli "edifici sensibili" e dei beni storici ed artistici. Su tale ultimo tema, a differenza degli altri, non si potrà che fare affidamento su iniziative di ricerca attivate in Italia.

5 Ringraziamenti

Oltre all'Ing. Alberto Dusman, Vice Presidente del Consiglio Nazionale degli Ingegneri, che ha reso possibile la presente relazione, l'Autore desidera ringraziare Ms Marsha Flett, del National Center for Earthquake Engineering Research e Ms Marie Yeroyanni, della Commissione Europea – DG III.

6 Bibliografia

- [1] Colombo, E. Salvetti, M. Vallino, *In progress experiences on seismic qualification of 420 kV electrical substation*, Proceedings [of] the 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, Austria, 28 August - 2 September 1994. Duma, Gerald, ed. A A Balkema, Rotterdam, volume 3, pp. 2033-2038 (1995)
- [2] Bonacina, G. Bonetti, P. Martelli, A. Bettinali, F. Serino, *Seismic base isolation of gas insulated electrical substations: design, experimental and numerical evaluation of the applicability*, Proceedings [of] the 10th European Conference on Earthquake Engineering; Vienna, Austria, 28 August - 2 September 1994. Duma, Gerald, ed. A A Balkema, Rotterdam, , volume 1, pp. 697-702 (1995)
- [3] AA.VV., *Collocation Impacts on the vulnerability of lifelines during earthquakes with applications to the cajon Pass, California. Study overview*, Federal Emergency Management Agency, Washington, pp. 13-17 (1991)
- [4] F.Y. Yokel, R.G. Mathey, *Earthquake resistant construction of gas and liquid fuel pipeline systems serving, or regulated by, the federal Government*, Federal Emergency Management Agency, Washington, pp. 13-14 (1992)
- [5] H. Suzuki, T. Masuda, M. Sato, M. Hamada, *Safety estimation of buried pipes for permanent ground deformation by liquefaction*, Proceedings of fifth U.S.-Japan workshop on earthquake disaster prevention for lifelines systems, Public Works Research Institute Tsukuba Science City, Japan (1992)
- [6] F. Yamasaki, H. Tong, *Damage and restoration of natural gas system in the 1995 Kobe earthquake*, Committee of Earthquake Engineering, Japan Society of Civil Engineers, pp. 219-226, (1996)
- [7] AA.VV. , *Abatement of seismic hazards to lifelines: proceedings of the building seismic safety council workshop on development of an action plan*, Building Seismic Safety Council, Washington (1987)
- [8] F.Y. Yokel, *Earthquake resistant construction of electrical transmission and telecommunication facilities serving the federal Government*, Federal Emergency Management Agency, Washington (1990)
- [9] F.T.Tajirian, *Seismic isolation of critical components and tanks*, Proceedings of ATC-17-1 Seminar on seismic isolation, passive energy dissipation, and active control, San Francisco, California, 1993
- [10] M. Sato, K. Suda, N. Susuki, F. Miura, *An overview of seismic design of buried lifelines structures in Japan, Proceedings from the fourth Japan-U.S. workshop on earthquake resistant design of lifeline facilities and countermeasures for soil liquefaction*, M. Hamada T.D. O'Rourke, vol 2, pp. 847-858 (1992)
- [11] M.T. Phipps, *Lifeline hazard mitigation through strategic industrial planning*, Proceedings of the 3rd US-Japan workshop on earthquake disaster prevention for lifeline systems, 1989
- [12] R.A. Olson, *Earthquake protection for data system*, Disaster Recovery Journal, June pp. 35-42 (1992)
- [13] H. Yambe, S. Fujita, N. Masaki, M. Ohta, *Development of isolation system for ambient micro-vibration and earthquakeusing multi stage rubber bearings and high damping rubber damper*, Proceedings of the tenth world conference on earthquake engineering, A.A.Balkema, Rotterdam, Brookfield, pp. 2291-2294 (1992)
- [14] S. Mataka, K. Honda, *Damage to telecommunication facilities during the Great Hanshin-Awaji earthquake*, The 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake, Japan Society of Civil Engineers, June 1996
- [15] S. Noda, N. Nojima, Y. Hosoi, Y. Kozuki, *Damage and functional performance of water supply systems*, The 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake, Japan Society of Civil Engineers, June 1996
- [16] N. Nojima, H. Kameda, *Lifelines interactions in the Hanshin-Awaji earthquake disaster*, The 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake, Japan Society of Civil Engineers, June 1996
- [17] A. Baratta, A. Bernardini, M. Dolce, A. Goretti, A. Masi, G. Zuccaro, *Danneggiamento degli edifici indotto dagli eventi sismici successivi al 26 settembre 1997 in Umbria e Marche*, Ingegneria Sismica, settembre-dicembre pp. 27-55 (1997)

- [18] S. Lagomarsino, A. Brencich, F. Bussolino, A. Moretti, L. C. Pagnini, *Una nuova metodologia per il rilievo del danno delle chiese: prime considerazioni sui meccanismi attivati dal sisma*, Ingegneria Sismica, pp. 70-82 (1997)
- [19] AA.VV. *L'attività tecnica della fase dell'emergenza*, Ingegneria Sismica, pp. 83-86 (1997)
- [20] Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 2788 del 12 giugno 1998, *Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio nazionale*, Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 146 del 25 giugno 1988
- [21] D.A. Swerrie, *Enhancing elevator passenger safety and mitigating elevator damage during earthquake*, Proceedings of the second Conference on tall buildings in seismic regions, 1991
- [22] D.J. Dowrick, W.J. Cousins, W.H. Robinson, J. Babor, *Recent developments in seismic isolation in New Zealand*, Proceedings of the tenth world conference on earthquake engineering, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfields, pp. 2305-2309 (1992)
- [23] D.G. Honegger, *Evaluation of automatic earthquake shutoff valve performance and recommendations for future U.S. standards*, Proceedings of the third U.S. Conference on lifeline earthquake engineering, Michael Cassaro, Los Angeles, California, pp. 857-867 (1991)
- [24] AA.VV., *Seismic risk and heavy industrial facilities*, Proceedings of the Conference, Lawrence Livermore National Laboratory, pp. 26-131, (1983)

Tabella 1. Elenco dei venti più recenti progetti finanziati dalla Commissione Europea in materia di valutazione del rischio sismico

- 1 . How reliable are global computer models: correlation with large-scale tests
- 2 . Implementation of a 3D coupled spectral element/finite element solver for wave propagation and soil-structure interaction simulations
- 3 . Seismic rehabilitation strategies for Italian monument buildings
- 4 . Detection and assessment of seismic damage in reinforced concrete, transportation, primary tunnel linings
- 5 . Experimental assessment of the global cyclic damage of framed r/c structures
- 6 . Substructuring in large-scale pseudo-dynamic tests
- 7 . Validation of the pseudo-dynamic method to test large scale models of base isolated structures
- 8 . Experimental methods in structural dynamics
- 9 . Verification of the pseudodynamic test method
- 10 . Alpha-operator splitting time integration technique for pseudodynamic testing
- 11 . COST C1: Earthquake performance of civil engineering structures
- 12 . Collaborative European research activities for seismic risk prevention and reduction
- 13 . Institute for Systems, Informatics and Safety: Annual report 96
- 14 . Metasystem for architects for the design of steel aseismic residential buildings
- 15 . Italian research programmes in earthquake engineering
- 16 . Research and development needs for post-earthquake emergency damage and usability assessment of buildings
- 17 . General guidelines and specifications for repair and strengthening of old masonry structures against seismic actions
- 18 . Euro-Seistest Volvi, Thessaloniki: A European test site for engineering seismology, earthquake engineering and seismology
- 19 . Long-period earthquake risk in Europe
- 20 . Implementation of a 3D coupled spectral element/finite element solver for wave propagation and soil-structure interaction simulations

Tabella 2. Elenco di terremoti su cui sono stati rilevati i danni ai sistemi elettrici.

n.	terremoto	anno	magnitudo (Richter)	accelerazione relativa di picco a terra
1	Kanto (Giappone)	1923	-	-
2	Kern County (California, USA)	1952	7,7	0,20 - 0,25
3	Alaska (USA)	1964	8,4	0,10-0,30
4	San Fernando (California, USA)	1971	6,5	0,20-0,60
5	Managua (Nicaragua)	1972	6,2	0,40-0,60
6	Miyagi-ken-oki (Giappone)	1978	7,4	0,10-0,40
7	Imperiale Valley (California, USA)	1979	6,6	0,50
8	Corinto (Grecia)	1981	6,7	0,15-0,30
9	Palm Springs (California, USA)	1986	5,8	0,72-0,97
10	San Salvador	1986	5,4	0,50
11	Nuova Zelanda	1987	6,3	0,30
12	Loma Prieta (Cal.)	1989	7,1	0,64

Tabella 3. Guasti rilevati ai sistemi elettrici nei terremoti di cui alla Tabella 2

componente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
rottura isolatore in porcellana			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
spostamento e danneggiamento del trasformatore				x	x					x	x	x
rottura quadro o interruttore			x	x	x					x	x	x
rottura contattore			x						x		x	x
rottura dei conduttori del trasformatore			x		x							x
cedimento dell'isolamento			x									x
caduta trasformatore		x			x							x
aggrovigliamento dei cavi di distribuzione		x	x									x
danneggiamento tralicci		x										x
eccessivo spostamento relativo	x	x	x	x			x		x	x	x	x