

INGEGNERIA FORENSE, CROLLI, AFFIDABILITÀ STRUTTURALE E CONSOLIDAMENTO

a cura di

Nicola Augenti - Franco Bontempi

Atti del convegno IF CRASC '15 - 14/16 maggio 2015, Roma





INGEGNERIA FORENSE, CROLLI, AFFIDABILITÀ STRUTTURALE E CONSOLIDAMENTO

Atti del
III Convegno di Ingegneria Forense
VI Convegno su CROLLI, Affidabilità Strutturale, Consolidamento
IF CRASC '15

Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale
Sapienza Università di Roma, 14-16 Maggio 2015

a cura di
Nicola Augenti - Franco Bontempi



Dario Flaccovio Editore

INGEGNERIA FORENSE,
CROLLI, AFFIDABILITÀ STRUTTURALE
E CONSOLIDAMENTO

a cura di Nicola Augenti - Franco Bontempi

ISBN 978-88-579-0447-4

© 2015 by Associazione Italiana di Ingegneria Forense

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, aprile 2015

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempire agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

Comitato Scientifico	Comitato Organizzatore
Nicola Augenti (presidente)	Nicola Augenti
Franco Bontempi	Franco Bontempi (coordinatore)
Antonio Borri	Stefania Arangio
Alessandro De Stefano	Chiara Crosti
Lorenzo Jurina	Carmine Di Santo
Gaetano Manfredi	Mario Forlino
Pier Giorgio Malerba	Giordana Gai
Andrea Prota	Konstantinos Gkoumas
Franco Roberti	Fulvio Parisi
Mauro Sassu	Francesco Petrini
Enzo Siviero	Paolo Emidio Sebastiani
	Luca Sgambi

Patrocini

Consiglio Nazionale degli Ingegneri
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Milano
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
 Ordine degli Architetti Pianificatori Paesaggisti e Conservatori di Roma e provincia
 Centro di Ricerca in Scienza e Tecnica per la Conservazione del Patrimonio
 Storico-Architettonico dell'Università di Roma Sapienza (CISTeC)
 BIC Lazio

In collaborazione con l'Istituto Superiore Antincendi
 e con il Nucleo Investigativo Antincendi

Prefazione

Questo volume contiene gli Atti del Congresso IF CRASC '15 nel quale sono raccolti tutti i contributi presentati al III Convegno di Ingegneria Forense e al VI Convegno su Crolli, Affidabilità Strutturale e Consolidamento, celebrati presso la Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale della Sapienza Università di Roma, dal 14 al 16 maggio 2015. La manifestazione è stata organizzata in completa sinergia tra l'AIF - Associazione italiana di Ingegneria Forense, la Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale della Sapienza Università di Roma, e lo spin-off di ricerca StroNGER s.r.l.. I contributi comprendono memorie tecnico-scientifiche che trattano, in maniera pressoché uniforme, i temi dell'Ingegneria Forense Strutturale e Civile, il Consolidamento e l'Affidabilità Strutturale, gli aspetti Giuridici dell'I.F., l'Ingegneria Forense Industriale e Informatica, oltre alla Fire Investigation e alle Strutture Temporanee cui sono state dedicate due sessioni speciali. Nonostante la fase di particolare congiuntura che attraversa il Paese in generale e l'Università italiana in particolare, rispetto all'edizione 2012 dell'IF CRASC abbiamo registrato un ulteriore incremento dei contributi presentati, dell'ordine del 20% circa. Ciò non solo conferma il crescente successo dell'Ingegneria Forense, ma dimostra anche come questa nuova disciplina sia in grado di attrarre l'interesse congiunto di ricercatori e professionisti. Gli argomenti trattati, infatti, coprono un ampio spettro di argomenti che vanno dalle analisi inverse tese a individuare le cause dei collassi, fino alla trattazione degli aspetti giuridici che investono l'attività del tecnico impegnato nelle consulenze giudiziarie e non. La circostanza che il Convegno sia stato patrocinato dagli Ordini professionali, sia degli Ingegneri che degli Architetti, e che veda la partecipazione di alti magistrati, accademici e professionisti (liberi o dipendenti) conferma come i temi in discussione suscitino un interesse sempre più vasto, anche in virtù del fatto che l'Ingegneria Forense è uscita dal ristretto recinto della consulenza giudiziaria per investire l'intero settore delle attività svolte per individuare cause e responsabilità di problemi nell'accezione più ampia.

Nella chiosa di questa prefazione non possiamo esimerci dall'esprimere la nostra gratitudine agli autori delle memorie, ai congressisti tutti e ai nostri validi collaboratori, grazie ai quali è stato possibile dare vita a questo nuovo appuntamento scientifico-culturale.

*Nicola Augenti
Franco Bontempi*

Preface

This Volume contains the full texts of the lectures and papers presented at the IF CRASC '15, the Third Conference on Forensic Engineering and the Sixth Conference on Collapses, Reliability and Retrofit of Structures, held at the Faculty of Civil and Industrial Engineering of the Sapienza University of Rome, on May 14-16, 2015. The Conference was jointly organized by AIF, The Italian Association of Forensic Engineering, the Faculty of Civil and Industrial Engineering of the Sapienza University of Rome, and the research spin-off StroNGER s.r.l. The presented technical and scientific memoirs, deal with topics of Structural and Civil Forensic Engineering, Consolidation and Structural Reliability, Legal aspects of Forensic Engineering, Industrial and Computer Forensic Engineering, in addition to Fire Investigation and Temporary Structures, with two special sessions dedicated to these two last. Despite the economic conditions at this juncture, in Italy in general and the Italian University in particular, compared to the 2012 edition of the IF CRASC Conference, a further increase in the presented contributions was recorded, of the order of about 20%. This not only confirms the increasing success of Forensic Engineering, but also demonstrates how this new discipline is able of attracting the interest of both researchers and practitioners. The Conference topics, in fact, cover a wide spectrum, ranging from back analysis, aimed at identifying the causes of the collapses, to the discussion of the legal issues that affect the activity of technical consultants involved in judicial and non-judicial processes. The fact that the conference is sponsored by Professional Associations of Engineers and Architects, and the participation of senior judges, academics and professionals (self-employed or employees), confirms that the specific issues stimulate an ever wider interest. This also because Forensic Engineering has rapidly left the narrow precincts of judicial advice, to invest the entire field of activities related to the identification of the causes of problems and the responsibilities in the broadest sense.

The organizers would like to express their gratitude to the authors of the memories, to all the delegates and to the experienced staff involved in the organization, thanks to whom it was possible to accomplish this new science and cultural event.

*Nicola Augenti
Franco Bontempi*

INDICE

Augenti N.

Evoluzione dell'ingegneria forense tra simulazione e previsione degli eventi

XIX

RELAZIONI GENERALI

Bontempi F.

Ingegneria forense strutturale: basi del progetto e ricostruzione dei collassi

3

De Stefano A.

The C.A.S.E. project trial: technical investigation

21

Delatte N., Bosela P.

Systems for structural failure investigations in the United States

37

INGEGNERIA FORENSE STRUTTURALE

Augenti N.

The Collapse of Schola Armaturarum at Pompeii

51

Augenti N.

Il crollo di un edificio dovuto a sprofondamento

61

Bertoni M.

Interventi di somma urgenza e messa in sicurezza di un edificio in Napoli a seguito del rinvenimento di una cavità

73

Bosela P., Delatte N., Bosela P. Jr.

Failure Literacy: the importance of forensics in structural engineering education

85

Candela M., Galasso A.

Gestione, in un edificio murario, di un crollo locale con monitoraggio del ripristino strutturale

97

Coronelli D., Mulas M.G.

Testing low strength concrete of collapsed frame buildings

109

De Martino G., Di Ludovico M., Prota A., Moroni C., Manfredi G., Dolce M.

Damage distribution and repair costs of private buildings after L'Aquila earthquake

121

Falconi F., Tidu F. A.

Prevenzione, crolli e messa in sicurezza. Intervento di demolizione controllata di un serbatoio piezometrico in cemento armato

133

Formisano A., Di Lorenzo G., Guarino G., Landolfo R.		
<i>Problemi di deformabilità di solai a fungo in cemento armato: un caso studio</i>		145
Guida G.		
<i>Accertamenti e valutazioni relative al dissesto statico di un fabbricato in c.a.</i>		157
Iddas G., Provenzano P.		
<i>Le storie del crollo di tre edifici in muratura: responsabilità delle figure coinvolte nell'appalto</i>		169
Siviero E., Barizza P.		
<i>Il Ponte della Costituzione di Santiago Calatrava a Venezia – un caso studio di rilevanza internazionale</i>		181
Spinelli P., Asquino A.		
<i>Analisi Critica del crollo di un capannone industriale in acciaio</i>		191
Crosti C., Arangio S., Bontempi F.		
<i>Investigation on technical causes of the collapse of a temporary structure</i>		203
Romano L.		
<i>Analisi del crollo di un cassero complesso</i>		213
Zampetti M., Cretella G.		
<i>Sistematicità nell'inadeguatezza strutturale degli allestimenti temporanei di eventi musicali</i>		225

INGEGNERIA FORENSE CIVILE

Andreini M., De Falco A., Giresini L., Sassu M.		
<i>Recenti eventi di crollo in mura storiche urbane</i>		239
Arangio S., Crosti C.		
<i>S.I.V.E.S.: uno strumento per il rilievo speditivo della vulnerabilità degli edifici storici ai fenomeni geologici e idrogeologici</i>		251
Del Gaudio C., Ricci P., Verderame G. M.		
<i>Vulnerability assessment of the building stock of L'Aquila: comparison between observed and predicted earthquake damage scenarios</i>		261
Esposito S., Giovinazzi S., Cavalieri F.		
<i>Advanced post-earthquake damage assessment for non-pressurised pipes: learning from the Canterbury (NZ) earthquake sequence 2010-2011</i>		273
Giresini L., Giresini G., Sassu M.		
<i>Collapse of corrugated metal culverts during rainstorms: a case study in Northern Sardinia (Italy)</i>		285

Giresini L., Pagliara S., Palermo M., Sassu M.	
<i>Collasso per sormonto idraulico di piccoli ponti in recenti alluvioni nella Toscana meridionale</i>	297
Greco A., Bontempi F., Olmati P.	
<i>Caratteristiche prestazionali delle barriere di sicurezza New Jersey poste a bordo ponte</i>	307
Grisolia M., Panetta G., Sensi M.	
<i>Uno studio di interazione per la corretta interpretazione di un imprevisto in fondazione</i>	319
Papa L. M.	
<i>Cartografia e modelli di gestione dati</i>	329
Pirovano G. L.	
<i>La regola del 7-7-7: in edilizia i guai o i difetti si manifestano entro 7 giorni, entro 7 mesi, entro 7 anni</i>	339
Pirovano G. L., Vitale F.	
<i>Linee guida CNR per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle pavimentazioni in calcestruzzo, aspetti tecnici e implicazioni giuridiche</i>	347
Ramaglia G., Lignola G.P., Prota A., Ceroni F.	
<i>Il comportamento nel piano e fuori piano delle strutture in muratura nelle valutazioni di vulnerabilità sismica a larga scala</i>	359
Sgambi L.	
<i>Influenza dello stato di degrado alla base di un palo di sostegno nel collasso di un guardrail a seguito di un urto provocato da un veicolo</i>	371
Trombetti T., Sapiro R., Pieraccini L.	
<i>Pavimenti industriali in C.A.</i>	383
Trombetti T., Sapiro R., Pieraccini L.	
<i>Difetti del costruito: analisi statistica sul territorio di Bologna</i>	395

CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE

Arangio S., Bontempi F., Santarelli M. L., Zuena M., Davidde Petriaggi B., El-Turki A.	
<i>Structural design of new panels for the mosaics of Villa of Silin, Leptis Magna: Part 1 – Design strategy</i>	409
Arangio S., Santarelli M. L., Quattrociocchi G., Davidde Petriaggi B., El-Turki A., Olini F.	
<i>Structural design of new panels for the mosaics of Villa of Silin, Leptis Magna: Part 2 – Experimental investigation</i>	421

Borri A., Buratti C., Sisti R., Castori G., Belloni E., Palladino D., Corradi M.		
<i>Rinforzo a taglio di pannelli murari con intonaci termoisolanti fibrorinforzati</i>		431
Borri A., Castori G., Sisti R., Corradi M.		
<i>Sull'utilizzo di cavi in composito per il confinamento di murature faccia vista</i>		443
Corradi M., Righetti L., Osofero A. I., Borri A., Castori G., Sisti R.		
<i>Accelerated aging and fatigue effects on GFRP grids</i>		455
Forlino M., Arangio S.		
<i>Structural analysis for the forensic investigation of the demolition of a masonry structure</i>		467
Jurina L.		
<i>Un possibile approccio nell'intervento sull'esistente: la reversibilità nel consolidamento di edifici in muratura</i>		479
Lucidi M.		
<i>Il fattore esposizione in una demolizione controllata</i>		491
Micelli F., Candido L., Cascardi A., Aiello M.A.		
<i>Rinforzo attivo mediante CFRP di solai nuovi a travetti in c.a.p. soggetti ad insufficienza statica</i>		503
Mimoto T., Yoshitake I., Harada M., Sakaki T.		
<i>An internal prestressing system to strengthen existing concrete members</i>		515
Olmati P., Gkoumas K.		
<i>Simplified FEM Modelling For The Collapse Assessment Of A Masonry Vault</i>		525
Peiris A., Harik I.		
<i>CFRP rod panels for strengthening concrete bridge components</i>		533

AFFIDABILITA' STRUTTURALE

De Risi M.T., Ricci P., Verderame G. M.		
<i>Experimental assessment of seismic performance of exterior beam-column joints in existing RC buildings</i>		545
Bamonte P., Mulas M. G., Paolucci R.		
<i>The Earthquake-Induced Collapse of an Industrial Building: Structural Issues</i>		557
Bertoni M.		
<i>Monitoraggio strutturale della facciata sospesa del Terminal 1 dell'Aeroporto Internazionale di Napoli</i>		569
Bossio A., Lignola G. P., Monetta T., Brigante M., Prota A., Bellucci F., Cosenza E., Manfredi G.		
<i>Effetti strutturali della corrosione sulle strutture in calcestruzzo armato</i>		581

Brunesi E., Nascimbene R., Parisi F., Augenti N.		
<i>Progressive collapse fragility of RC frame structures</i>		593
Castelli A., Petrini F.		
<i>Identificazione strutturale del comportamento sperimentale di centine innovative per gallerie</i>		605
Dimase G., Petrini F., Bontempi F.		
<i>Ottimizzazione a fatica dei dettagli strutturali nelle piastre ortotrope per ponti sospesi</i>		617
Fabbrocino F., Modano M.		
<i>Masonry tall buildings modal properties estimation in view of seismic vulnerability assessment</i>		629
Forlino M., Petrini F., Bontempi, F		
<i>Un criterio razionale per la valutazione della durabilità di opere in conglomerato armato</i>		639
Milana G., Olmati P., Gkoumas K.		
<i>Scenario based structural robustness assessment of tall diagrid structures</i>		651
Perrone D., Micelli F., Aiello M. A.		
<i>Metodologie di valutazione della vulnerabilità sismica a confronto: applicazione ad un edificio scolastico</i>		661
Petrone C., Mastrovito M., Magliulo G.		
<i>Analisi della risposta sismica di una struttura prefabbricata a seguito del sisma dell'Emilia Romagna del 2012</i>		673
Ricciardelli F., Demartino C.		
<i>I due crolli del Pont de Québec: una lezione da non dimenticare</i>		685
Sebastiani P. E., Petrini F.		
<i>Seismic protection devices to mitigate damage and life-cycle cost of a railway bridge</i>		697
Sgambi L.		
<i>Analisi del degrado in strutture in calcestruzzo armato, parte 1: modelli per la carbonatazione</i>		709
Sgambi L.		
<i>Analisi del degrado in strutture in calcestruzzo armato, parte 2: modelli per la diffusione dei cloruri e per la corrosione</i>		721
Yoshitake I., Asada Y., Kuroda Y., Watada Y., Kim Y.J.		
<i>Water effect on the fatigue durability of cracked composite slabs with a cementitious adhesive</i>		733

ASPECTI GIURIDICI E AMMINISTRATIVI

Borri A., De Maria A.		
<i>NTC, Circolari e Linee Guida: opportunità e responsabilità</i>	741	
Colciago E.		
<i>Abusivismo edilizio e urbanistico</i>	753	
Contini G.		
<i>Determinazione dell'indennità di sopraelevazione dopo la sentenza della Corte di Cassazione 16794 / 07</i>	765	
Cutini A., Galiano G.		
<i>L'abusivismo edilizio a Roma</i>	771	
Di Pietro G. M.		
<i>Recesso e risoluzione: determinazione degli indennizzi</i>	783	
Frigo B., Chiaia B.		
<i>L'ingegneria forense e la neve</i>	795	
Lizza A.		
<i>Metodologie di stima e criticità negli espropri per pubblica utilità</i>	807	
Menditto F., Del Monaco C. L., Quindici R.		
<i>Rinnovazione delle indagini e sostituzione del consulente</i>	815	
Palazzo S.		
<i>Errori dei CTU nei procedimenti civili e conseguenze economiche nella gestione delle commesse di opere infrastrutturali</i>	827	
Soprano A., Grazioso P.		
<i>Infortuni sul lavoro: alcuni casi emblematici</i>	839	
Trombetti T., Pieraccini L., Sapiro R.		
<i>Il grave difetto</i>	851	
Trombetti T., Pieraccini L., Sapiro R.		
<i>Il normale comportamento</i>	863	
Trotter S.		
<i>L'Agenzia delle Entrate sezione territorio sembra aver smarrito tutta la cultura disciplinare dell'estimo immobiliare, che dovrebbe istituzionalmente rappresentare</i>	873	

FIRE INVESTIGATION, FIRE & EXPLOSIONS

D'Angelo C.		
<i>Investigation on a car park fire</i>		887
Mangione M., Bontempi F., Crosti C.		
<i>Structural Fire Investigation e ingegneria forense</i>		899
Mazzaro M.		
<i>I procedimenti e le tecnologie dell'investigazione antincendi: i dieci anni di attività del Nucleo Investigativo Antincendi dei Vigili del Fuoco</i>		911
Notaro F., Cristini B.		
<i>Vittime di un incendio colposo in un locale di intrattenimento. Analisi delle cause dell'evento</i>		923
Notaro F., Cristini B., De Rosa A.		
<i>Valutazione del rischio incendio/esplosione connesso alle lavorazioni di smaltimento di recipienti in pressione (bombolette spray) e procedure di mitigazione del rischio</i>		935
Baroncelli T., Gentili F., Petrini F., Lo Cane A.		
<i>Computational fluid dynamics simulations for the assessment of a road tunnel fire safety</i>		947
Di Santo C., Gkoumas K., Bontempi F.		
<i>Risk analysis for severe traffic accidents in road tunnels (part I)</i>		959
Di Santo C., Gkoumas K.		
<i>Risk analysis for severe traffic accidents in road tunnels (part II)</i>		971
Gai G., Gentili F.		
<i>Influence of panic on human behaviour during emergency egress for tunnel fires</i>		981
Gentile P., Russo P., Russo G.		
<i>Forensic investigation of a civil building explosion by CFD modelling</i>		993
Gentili F., Petrini F.		
<i>Robustness of steel multi-storey buildings subjected to fire</i>		1005
Grazioso P., De Rosa R.		
<i>Valutazione della potenzialità offensiva di un ordigno artigianale</i>		1017
Lizza A.		
<i>Metodologie investigative negli incendi di natura elettrica</i>		1025
Macchiaroli B.		
<i>Le indagini giudiziarie tecniche inerenti incendi boschivi in presenza di linee elettriche</i>		1037

Mangione M., Crosti C.	1049
<i>Fire Investigation nel tunnel del Monte Bianco</i>	

INGEGNERIA FORENSE INDUSTRIALE

Mazzola M., Migliaccio M.no	
<i>Sulle cause della rottura per scoppio di un serbatoio ad acqua surriscaldata al servizio di un impianto per la produzione di pneumatici</i>	1063
Parisi F., Russo P.	
<i>Probabilistic risk assessment of reinforced concrete columns to natural-gas pipeline explosions</i>	1075
Romano R., Dragonetti R., Quindici R.	
<i>Aspetti critici nella valutazione delle immissioni acustiche: il caso studio di un'attività commerciale</i>	1087
Di Cave S., Mazzarotta B.	
<i>Incidenti "imprevedibili"?</i>	1097
Chiaia B., De Biagi V., Zannini C., Fiorentini L., Rossini V., Carli P.M.	
<i>A new methodology for seismic risk assessment in industrial plants</i>	1107
Petruzzelli F., Forte M.	
<i>Rischio sismico di impianti industriali: analisi di un caso studio a seguito degli eventi sismici dell'Emilia, 2012</i>	1119
Ardito R., Mulas M.G.	
<i>Collapse of a fluid storage tank in a biogas plant: an investigation on possible causes</i>	1131



EVOLUZIONE DELL'INGEGNERIA FORENSE TRA SIMULAZIONE E PREVISIONE DEGLI EVENTI

N. Augenti

*Presidente dell'Associazione italiana di Ingegneria Forense
Fondatore e Direttore del Master universitario di II livello in Ingegneria Forense
Università degli Studi di Napoli Federico II*

1. INTRODUZIONE

La presente relazione generale di apertura del Congresso IF CRASC'15, che riunisce il III Convegno di Ingegneria Forense e il VI Convegno su CROLLI, Affidabilità Strutturale e Consolidamento, non vuole costituire un mero consuntivo di quanto è stato fatto (negli specifici settori) durante il periodo che ci separa dall'IF CRASC'12 di Pisa, ma mira anche a delineare i nuovi obiettivi che intendiamo perseguire attraverso le attività e le iniziative recentemente intraprese. In tale spirito, questo contributo possiede un carattere fortemente propositivo che fa leva sul grande sviluppo conseguito dall'Ingegneria Forense nel volgere di pochi anni e sulle energie attualmente impegnate. Oltre a rivolgere lo sguardo su ciò che è stato fatto e su ciò che si sta facendo, l'intento di chi scrive è quello di riguardare separatamente due aspetti che coesistono nell'Ingegneria Forense: quello scientifico e quello applicativo, che costituiscono le due facce di una stessa medaglia. Senza l'aspetto connesso alla Ricerca, l'Ingegneria Forense non potrebbe avere alcun futuro, rimanendo relegata all'attività sclerotizzata nel tempo che identifica il consulente tecnico come mero osservatore e compilatore. Di contro, una disciplina progettata semplicemente verso un progresso qualitativo dei contenuti degenererebbe nella mancanza di ricadute pratiche e quindi nella possibilità di snaturare un'attività professionale consolidata nel tempo.

2. BILANCIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE

In previsione di pianificare gli obiettivi da raggiungere a breve termine, appare opportuno sintetizzare di seguito i risultati conseguiti nell'ultimo triennio, sia in campo associativo che in ambito accademico e professionale.

2.1. Attività Associative

L'Associazione italiana di Ingegneria Forense (AIF) ha svolto nell'ultimo triennio un'intensa attività mirata a identificare e risolvere le problematiche più importanti connesse all'esercizio della professione di consulente o perito in ambito giudiziario.

In particolare, sono stati affrontati e sottoposti all'attenzione delle diverse Istituzioni le criticità principali che caratterizzano l'attività professionale in campo forense.

Il primo impegno è stato quello di promuovere il riconoscimento giuridico della professione e della qualifica di Ingegnere Forense, in maniera da poter ottenere una figura in tutto e per tutto analoga a quella del medico legale, già in essere da diversi decenni. L'azione è stata particolarmente rivolta alle strutture ministeriali e a quelle accademiche, che sole potranno legittimare tale aspirazione. Allo stato attuale si è conseguito un riconoscimento informale da parte di molte sedi giudiziarie che, nelle nomine dei propri consulenti o periti, citano esplicitamente la necessità di incaricare un Ingegnere Forense, mentre sul piano ministeriale il Consiglio Nazionale Ingegneri si è fatto egli stesso portavoce di tale istanza verso le Autorità Legislative.

Notevoli sono stati gli sforzi profusi nel tentativo di istituire un *Albo Nazionale dei Consulenti Tecnici e dei Periti dell'Autorità Giudiziaria*, già ipotizzato e discusso in passato con l'attuale Procuratore Nazionale Antimafia, dott. Franco Roberti. L'obiettivo è quello di realizzare un albo informatico, disponibile in rete ai Magistrati e agli Avvocati, che riunisca professionisti dotati di chiara e riconosciuta competenza nel settore dell'Ingegneria Forense. Ciò consentirebbe di evitare nomine clientelari o di soggetti privi di specifica qualificazione. I problemi che affliggono tale progetto sono sostanzialmente due: la creazione di percorsi formativi specifici per i neofiti in tale settore e la definizione di criteri e protocolli per la certificazione delle specifiche competenze. La questione si pone principalmente nei riguardi di tutti i professionisti che attualmente risultano iscritti negli albi delle sedi giudiziarie formati, com'è ben noto, sulla base di competenze autoreferenziate. Anche su tale tema, l'AIF ha formulato proposte al Consiglio Nazionale Ingegneri che, di concerto con il Ministero della Giustizia, potrebbe realizzare il progetto. Va precisato, peraltro, che i criteri con i quali l'Associazione italiana di Ingegneria Forense seleziona le iscrizioni a socio sono alla base di valutazioni dello stesso Consiglio Nazionale Ingegneri, il quale potrebbe farli propri nell'ipotizzare un sistema oggettivo di certificazione.

Un altro aspetto critico dell'attività professionale connessa alla consulenza tecnica giudiziaria è rappresentato dall'individuazione di criteri rigorosi che possano disciplinare l'affidamento degli incarichi. Tale problema si collega direttamente a quello precedentemente accennato in quanto le nomine di periti e CTU, se formulate sulla base di un albo nazionale certificato, eviterebbero la presenza in giudizio di tecnici non qualificati e lo squallido clientelismo che affligge l'attuale sistema. In nome di un paventato criterio di *rotazione degli incarichi* (che dovrebbe costituire strumento di equità) i Magistrati finiscono con l'applicare tale "criterio" indipendentemente dalla specializzazione posseduta dai consulenti, riguardando l'ingegnere come onnisciente.

Una campagna che l'AIF sta portando avanti da molto tempo è quella che riguarda l'istituzione di un fondo di garanzia per i CTU: si tratterebbe di imporre alle Parti dei procedimenti civili il deposito preventivo (presso un istituto bancario) delle somme necessarie a coprire onorari e spese per l'espletamento della Consulenza Tecnica d'Ufficio. Un tale provvedimento consentirebbe peraltro ai professionisti incaricati di non dover rincorrere, con onerose azioni legali, i debitori insolventi.

In connessione con tale aspetto, nel settore penale, è stato affrontato il problema della possibile compensazione fra debiti del Ministero della Giustizia contratti con periti o CTU e i debiti che questi ultimi contraggono con lo Stato, per motivi fiscali. La necessità della

compensazione deriva dai tempi di liquidazione e di pagamento delle parcelle, che molto spesso si protraggono per diversi anni. Sarebbe invece corretto che i professionisti creditori dello Stato potessero compensare le somme loro spettanti (per spese e onorari) con le imposte e tasse da pagare periodicamente. Tale questione si collega, peraltro, a quella più generale dei tempi di liquidazione degli onorari e delle spese, che andrebbero definiti dallo Stato in maniera rigorosa. Non è infatti concepibile e sostenibile che i consulenti o periti dell'Autorità Giudiziaria debbano attendere anni per la sola liquidazione. Anche in tale caso sarebbe necessario un provvedimento legislativo che l'AIF auspica da tempo.

Sotto il profilo del rispetto dovuto agli ausiliari dei Magistrati, si renderebbe necessaria una regolamentazione dell'accesso alle sedi giudiziarie. Sembra paradossale che chi è impegnato in attività peritali o di consulenza debba essere sottoposto a perquisizioni e controlli in corrispondenza dei varchi di accesso ai Tribunali, mentre avvocati e dipendenti giudiziari fruiscono di percorsi preferenziali. Tale discriminazione appare profondamente ingiusta e offensiva della dignità professionale di chi svolge funzioni analoghe a quelle dei soggetti privilegiati innanzi citati. Atteggiamenti simili sono emblematici della mancanza di rispetto e della scarsa considerazione riservate, attualmente, dall'Autorità Giudiziaria ai propri consulenti tecnici.

Un'ulteriore idea che l'AIF ha lanciato da tempo è l'istituzione dell'*Ingegnere Forense di turno* in quanto, particolarmente nell'occasione di indagini penali, un accertamento immediato dello stato dei luoghi consentirebbe di preservare le prove. Tale esigenza diviene ancor più sentita allorché sia necessario procedere ad operazioni di soccorso che modifichino lo scenario iniziale del sinistro. In sostanza, si tratterebbe di creare una figura analoga a quella del medico legale o del PM di turno, che si renda reperibile nell'arco delle 24 ore per poter intervenire tempestivamente sui luoghi oggetto di reato.

Notevole attenzione è stata rivolta dall'AIF all'individuazione e correzione delle criticità riscontrate presso le diverse sedi giudiziarie, criticità che vengono periodicamente evidenziate presso gli uffici competenti o segnalate al Consiglio Nazionale Ingegneri.

Tema centrale nell'ambito degli interessi dell'AIF è stato quello riguardante una radicale revisione della tariffa giudiziaria che attualmente mortifica il lavoro dei consulenti tecnici e dei periti, allontanando sempre di più i professionisti competenti da questo tipo di attività. Fra i problemi che destano maggiore scandalo vi è quello delle sedi giudiziarie (civili e penali) che, sulla base di una errata quanto singolare interpretazione delle tariffe giudiziarie, liquidano gli onorari dei consulenti nella misura di circa 4 euro all'ora. Fermo restando che un compenso simile non trova riscontro in alcuna categoria di lavoratori, lo scrivente ha osservato che la detta paga è pari a quella che viene corrisposta agli extracomunitari che raccolgono pomodori nelle campagne del Casertano. L'unica differenza sostanziale è che la paga agli extracomunitari viene corrisposta "in nero", mentre i professionisti devono fatturare i propri compensi. Tale vergognosa situazione comporta che solamente chi è animato da altissimo senso dello Stato e spirito di servizio possa continuare a lavorare per onorari umilianti, mentre la maggior parte dei professionisti più validi preferisce oramai assumere incarichi per conto delle Parti. La ricaduta sulla società civile sarà sempre più costituita dal rischio di CTU e periti incompetenti, a tutto danno della Giustizia (quella con la G maiuscola). Quando sarà stabilita la "responsabilità" dei Magistrati (perlomeno sul piano della carriera), sarà forse possibile che la scelta dei consulenti o dei periti dell'Autorità Giudiziaria divenga più oculata e che l'opera dell'Ingegnere Forense venga finalmente rispettata.

Per ultimo va ricordato che l’Associazione italiana di Ingegneria Forense, in collaborazione con la Sapienza Università di Roma (e segnatamente con il prof. ing. Franco Bontempi), ha organizzato il Congresso IF CRASC’15 di cui il presente contributo costituisce relazione generale di apertura.

Mi piace ricordare, in questa sede, come l’AIF annoveri, tra i propri soci ordinari, professionisti dotati di elevata specializzazione forense e si fregi di avere, quali soci onorari, il Procuratore Nazionale Antimafia, dott. Franco Roberti, e il Magnifico Rettore dell’Università degli Studi di Napoli Federico II, prof. ing. Gaetano Manfredi, entrambi tra i promotori e fondatori dell’Ingegneria Forense. Può essere interessante sapere che, proprio per i suoi criteri altamente selettivi, l’elenco degli iscritti all’Associazione è stato molte volte richiesto da più sedi giudiziarie interessate a selezionare i professionisti ai quali affidare incarichi di consulenza.

Per avere una misura della notorietà che l’AIF ha assunto e dell’interesse nei riguardi dell’Ingegneria Forense, può essere significativo riportare i dati statistici del sito web ufficiale <http://www.aifitalia.it/>, creato il 7 giugno 2011 e cioè meno di quattro anni fa. Le pagine visitate sino al mese di marzo 2015 sono state 63.950, con una media di 1.420 visite al mese.

2.2. Attività Accademiche

L’attività di consulenza tecnica richiede particolari competenze e percorsi formativi di elevata specializzazione. È questa la domanda di un settore lavorativo in forte evoluzione alla quale le Università hanno il dovere e l’onere di dare risposta, attraverso l’istituzione di Scuole di Master e Corsi di Laurea di II livello.

Tale sfida è stata raccolta dall’Università degli Studi di Napoli Federico II che, con Decreto Rettoriale n. 2784 del 6 agosto 2008, ha istituito il Master di II livello in Ingegneria Forense (MIF). Si tratta, al momento, dell’unico Master di questo tipo in Italia e in Europa che è caratterizzato, rispetto ad analoghe iniziative presenti negli Stati Uniti d’America, dalla coesistenza di insegnamenti giuridici e di insegnamenti tecnici trasversali rispetto a gran parte dei settori dell’Ingegneria.

La prima edizione del MIF ha registrato un numero di domande più che doppio rispetto al numero chiuso di discenti fissato nel bando del concorso di ammissione. Nonostante l’estremo rigore applicato alla frequenza, agli esami di profitto dei corsi impartiti e alla tesi di specializzazione (da esaurire nel volgere di un solo anno accademico), il MIF ha registrato un costante successo di partecipazione e di risultati, al punto da giungere alla settima edizione (MIF 7) attualmente in corso, senza alcuna interruzione. I risultati possono essere ben misurati in termini di distribuzione nazionale, intervallo di età anagrafica e numero totale di iscritti, nonché di numero complessivo di professionisti che hanno conseguito la specializzazione. E’ stata registrata la partecipazione di ingegneri e architetti provenienti da gran parte delle regioni italiane, a dimostrazione del fatto che molti professionisti hanno deciso di investire tempo e risorse economiche per conseguire un titolo di elevato valore professionale e culturale. Un riscontro immediato della validità del MIF è fornito, oltre che dalle continue richieste di partecipazione (persino da Paesi extraeuropei), anche dai commenti degli specializzati che affermano come la loro attività professionale sia cambiata in termini di qualità e quantità di incarichi ricevuti. Anche l’intervallo di età anagrafica costituisce un ottimo indicatore del consenso e della fiducia espressa dai professionisti

sull'utilità dei corsi. Da un lato i neo-laureati dimostrano di comprendere l'esigenza, nel mercato attuale, di conseguire spiccate specializzazioni, dall'altro professionisti affermati e anche di non giovane età hanno ritenuto di affrontare le difficoltà del MIF pur di migliorare ulteriormente le proprie competenze. Lo stesso numero totale di iscritti (che ha superato le cento unità) costituisce un ulteriore indice di partecipazione, diffusione e validità dell'iniziativa formativa. Se infine si rapporta il numero degli specializzati al numero degli iscritti, si nota che la percentuale di successo rasenta il 100%.

L'ulteriore validità del MIF, rispetto alla maggior parte dei Master universitari, è costituita dal fatto che (per una precisa scelta del fondatore) è stata sempre rifiutata qualunque sponsorizzazione, con la conseguenza che il corso risulta autofinanziato dalle quote di iscrizione.

Altre sedi universitarie hanno programmato l'attivazione di Master in Ingegneria Forense, ma al momento nessuno di tali propositi si è realizzato, a dimostrazione del fatto che l'organizzazione di una simile struttura costituisce operazione notevolmente complessa. Mi sembra doveroso cogliere questa occasione, esprimere pubblicamente i sensi della più viva gratitudine a tutti i docenti del Master che, con abnegazione e incomparabile sapienza, ne hanno consentito il successo e l'affermazione come Scuola di Eccellenza.

Anche il MIF possiede un proprio sito web ufficiale <http://www.ingegneriaforense.unina.it/>, creato il 15 aprile 2009 e caratterizzato da statistiche molto promettenti in termini di futura partecipazione, atteso che il numero totale di pagine visitate ha raggiunto le 28.380 unità.

2.3. Attività Professionali

Con riferimento al settore applicativo dell'Ingegneria Forense, le iniziative di cui si riferisce sono quelle messe in campo dagli Ordini professionali e particolarmente dal Consiglio Nazionale Ingegneri (CNI). Quest'ultimo, in data 7 novembre 2011, ha istituito (anche su proposta dello scrivente) uno specifico Gruppo di Lavoro di Ingegneria Forense, coordinato dal consigliere nazionale ing. Andrea Gianasso.

Sembra opportuno evidenziare il carattere meritorio e produttivo delle attività condotte da tale commissione, le più importanti delle quali vengono sintetizzate di seguito.

In primo luogo, sono stati istituiti contatti numerosi e intensi con alcuni rappresentanti del Ministero della Giustizia ai quali, in sintonia con la *Rete delle Professioni*, sono state avanzate proposte di modifica delle leggi vigenti in materia di liquidazione degli onorari professionali.

Riguardo al Processo Civile Telematico, che ha costituito un importante momento di transizione per i consulenti tecnici dell'Autorità Giudiziaria e delle Parti, sono stati organizzati convegni e seminari finalizzati all'erudizione sulle procedure necessarie, anche attraverso la diffusione di documenti informativi.

In concomitanza con tale tema sono stati dibattuti gli aspetti riguardanti la firma digitale e la fatturazione elettronica, entrambe divenute obbligatorie per legge.

Un altro tema diffusamente e intensamente trattato è stato quello del riconoscimento della figura professionale di *Ingegnere Forense* (fortemente auspicato dallo scrivente) e dei criteri per la sua qualificazione, ancora oggi in discussione date le insidie naturalmente connesse all'argomento.

Riguardo le liquidazioni giudiziarie, atteso l'attuale rifiuto del Ministero a trattare il problema, si sta procedendo alla preparazione di un *vademecum* contenente note interpretative

e di completamento della tariffa (da distribuire a tutti gli ingegneri e da rendere noto a tutte le sedi giudiziarie) che possa costituire guida omogenea per la richiesta dei compensi. Ciò potrebbe stabilire perlomeno un'uniformità di comportamento nelle richieste, da parte di tutti i consulenti impegnati a livello nazionale, cosa che potrebbe indirizzare in qualche modo anche i criteri di liquidazione degli uffici giudiziari.

Il Gruppo di Lavoro ha anche organizzato la partecipazione alle diverse edizioni del Salone della Giustizia, con lo scopo di dare visibilità all'opera degli ingegneri forensi e di pubblicizzarne in maniera corretta le attività.

Molti Ordini Provinciali hanno istituito commissioni di Ingegneria Forense all'interno delle quali vengono dibattuti problemi di interesse comune. L'auspicio è quello che gli sforzi siano accomunati per conseguire migliori risultati utili a tutti.

In particolare, la commissione istituita dall'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli (il cui coordinamento mi è stato affidato il 15 gennaio 2014 e che si avvale del dott. ing. Fulvio Parisi come vice-coordinatore e dell'ing. Sossio Del Prete come segretario) ha svolto un proficuo lavoro di coordinamento con le altre commissioni, oltre che con le associazioni professionali e le istituzioni universitarie.

Il CNI, così come molti Ordini Provinciali degli Ingegneri, ha promosso un intenso aggiornamento nel settore dell'Ingegneria Forense organizzando corsi intensivi, seminari e conferenze. Altri temi dibattuti nell'ambito del Gruppo di Lavoro nazionale sono stati quelli riguardanti l'istituto della *Mediazione*, le valutazioni immobiliari, la *certificazione* degli ingegneri e la possibile creazione del Giudice Tecnico Istituzionale. Gran parte dei risultati conseguiti nell'ambito della commissione è stata diffusa a mezzo stampa o tramite prodotti multimediali.

3. QUALE EVOLUZIONE PER L'INGEGNERIA FORENSE?

La figura dell'Ingegnere Forense alla quale penso è quella di un professionista che posseggi una visione generale dei problemi, per conseguire la quale è imprescindibile il possesso di una cultura, anch'essa generale, di ampio respiro.

Per creare questo nuovo ruolo (non più confinato nei ristretti limiti di una visione miope come quella attuale) è fondamentale l'impulso che può fornire l'Accademia per una diversa *apertura* delle idee e per la formazione di professionisti dotati di elevata specializzazione. I Maestri del passato sono stati uomini di Scienza che, sulla scorta di una grande Cultura di base, riuscivano ad inquadrare anche problemi particolari nel contesto più ampio di fenomeni generali. In tale solco, ad esempio, si inseriscono contributi come quello di Franco Bontempi dal titolo *Ingegneria Forense strutturale: basi del progetto e ricostruzione dei collassi*, che rappresentano un distillato di cultura strutturale alimentata negli anni da una incessante attività di Ricerca del nuovo.

In luogo di continuare a navigare in un mondo del particolare (al pari del *pesciolino rosso* che nuota sempre nella sua piccola ampolla di vetro) l'Ingegnere Forense dev'essere colui che affronta il *mare aperto* della Conoscenza per scoprire nuove frontiere e confrontarsi con altre realtà, semmai meno protette ma più vive e stimolanti. Per passare dalle similitudini alla realtà, l'Ingegnere Forense si deve spogliare definitivamente dell'abito (liso e bistrattato) di mero consulente nei procedimenti giudiziari, per assumere un ruolo ben diverso di

professionista che interpreta scientificamente i fenomeni, fornendo una visione più elevata dei problemi che è chiamato a risolvere. E le differenze non possono consistere esclusivamente nel diverso e ben più prestigioso ruolo ricoperto, ma anche nella differenza degli interlocutori, che in passato erano costituiti solamente dai magistrati e che sempre più spesso si identificheranno con avvocati, parti pubbliche e private, enti territoriali.

L'Ingegnere Forense non può, né deve, essere più riguardato come l'*Andalù* del Magistrato o della Parte coinvolta in un procedimento giudiziario, ma va identificato come un professionista in grado di interpretare, con un'ottica più elevata, fenomeni ed eventi inattesi o indesiderati. In altri termini, l'Ingegnere Forense non va più riguardato come un *portatore d'acqua* che traghettava *secchi*, ma come colui che individua le *sorgenti* e che è in grado di garantire la *potabilità* delle risorse idriche ovvero, nello specifico settore che ci interessa, di scoprire i principi e garantire la fruibilità di quanto scoperto.

L'Ingegnere Forense del quale parliamo e per il quale è stata coniata una specifica disciplina scientifica, dunque, non è il “vecchio” *Consulente Tecnico di Ufficio* o di *Parte*, ma una figura professionale totalmente diversa in grado di interpretare scientificamente gli eventi inattesi o indesiderati e di fornire al proprio committente (Magistratura o altri) una chiave di lettura estremamente più ampia.

Il professionista al quale penso non è quello costretto ad elemosinare incarichi e disponibile a farsi mal trattare, ma quello che viene interpellato per un’attività di consulenza (relativa o meno ad un procedimento giudiziario) che richieda competenze non *comuni*. Tra queste, ovviamente, la conoscenza degli elementi di base del Diritto e la capacità di saper simulare scientificamente i fenomeni che sono accaduti.

In quest’ultimo filone si inseriscono i progressi fatti negli ultimi anni dagli studiosi che si sono interessati, ad esempio, di simulazione dei collassi strutturali dovuti a cause differenti, come errori umani, esplosioni o frane. L’approccio con il quale si stanno affrontando oggi questi temi è completamente diverso da quello adottato in passato.

L’applicazione di metodi probabilistici nelle simulazioni di crolli oggetto di indagini giudiziarie consente oramai di trasformare la *elevata probabilità* del verificarsi di un evento, nella quantificazione della *ragionevole certezza*. Si passa in tal modo, dalla vecchia *opinione* del CTU (sempre contestabile) alla *determinazione scientifica* dell’incertezza che caratterizza il giudizio espresso. Nel caso dei collassi strutturali, per ciascuno scenario secondo il quale può essersi verificato un evento, è molto spesso quantificabile scientificamente la probabilità che l’evento potesse accadere.

Recentemente, ad esempio, nell’ambito di un’indagine condotta per incarico dell’Autorità Giudiziaria Inquirente ho dovuto stabilire l’origine di un crollo che aveva dato luogo a ipotesi di omicidio colposo plurimo. Per determinare le cause di collasso del manufatto, nel modellare la struttura insieme a Fulvio Parisi, abbiamo sostituito alla tradizionale assunzione deterministica delle caratteristiche del materiale le distribuzioni probabilistiche delle resistenze e dei moduli elastici ricavate da specifiche prove di laboratorio. Adottando molteplici condizioni di vincolo alternative, le analisi FEM non lineari dell’elemento strutturale crollato sono state condotte modellando probabilisticamente l’eterogeneità spaziale del materiale. Per ciascuna ipotesi di condizione vincolare, le simulazioni effettuate attraverso il *metodo Monte Carlo* hanno consentito di stimare la capacità portante dell’elemento, diagnosticandone e riproducendone il collasso sotto l’effetto dei carichi realmente presenti al verificarsi dell’evento. Un ulteriore aspetto interessante della metodologia di analisi forense

applicata a tale caso studio è consistito nella quantificazione dell'incertezza (molto contenuta) legata alla capacità portante del manufatto crollato.

Le ricadute di queste nuove metodologie d'indagine sono ben superiori a quelle che ci si potrebbe aspettare, perché non si tratta di individuare semplicemente le risposte ai quesiti formulati dal committente circa le cause che hanno prodotto il verificarsi di un evento, ma anche di mettere a fuoco i meccanismi che sono all'origine del fenomeno esaminato e di fornire ulteriori contributi come: - prevedere il ripetersi di eventi simili; - indirizzare la progettazione dei futuri manufatti verso procedure più corrette; - diagnosticare con sufficiente confidenza le patologie osservate; - individuare le terapie d'intervento necessarie; - consentire la gestione degli eventi che si sono verificati.

Le ricadute innanzi evidenziate sono destinate, ovviamente, a interlocutori differenti. Ad esempio, la previsione dei possibili eventi può certamente interessare le società di assicurazione che devono valutare rischi e premi delle polizze, oltre che conoscere le reali cause all'origine dell'evento dannoso. Non a caso, negli Stati Uniti d'America le Assicurazioni sono tra i maggiori sponsor dell'Ingegneria Forense avendo interesse, non a *chiudere* sempre i sinistri con un accordo transattivo, ma a sapere con certezza se sia giusto o meno riconoscere un dato risarcimento.

In sintesi, l'utilità di un'analisi forense di nuova generazione si può compendiare nei seguenti vantaggi: - la simulazione di eventi reali; - la previsione di eventi simili futuri e dei loro effetti; - la mitigazione del rischio connesso al verificarsi di tali eventi, attraverso misure di diverso tipo che possono riguardare la riduzione della pericolosità in un dato sito o della vulnerabilità di un certo sistema.

La conoscenza delle cause che hanno prodotto danni in un manufatto può essere di grande insegnamento nell'evoluzione della progettazione strutturale, come d'altronde dimostra il fatto che la Ricerca è stata sempre stimolata dal verificarsi di eventi dannosi.

Infine, la conoscenza scientifica di quanto accaduto o di quanto potrebbe eventualmente ripetersi è l'unico fattore che può consentire una gestione delle emergenze o la predisposizione degli strumenti atti ad affrontarle. I maggiori interessati a ciò sono la Protezione Civile e, in generale, gli Enti Territoriali di Coordinamento deputati alla salvaguardia della società e del patrimonio costruito.

Le considerazioni appena svolte motivano la presenza dell'Affidabilità Strutturale e del Consolidamento fra le tematiche del Congresso IF CRASC'15, essendo strettamente legate alla previsione di eventi futuri, alla valutazione della sicurezza nei loro riguardi e alla mitigazione degli effetti mediante interventi sulle strutture.

Particolare importanza assume il fatto che l'Ingegnere Forense operi in maniera trasversale fra le differenti discipline dell'Ingegneria e del Diritto. Filoni di indagine come quelli che hanno per oggetto le esplosioni o le frane, di grande attualità scientifica e sociale, risultano ad esempio trasversali tra l'Ingegneria Strutturale, l'Ingegneria Chimica e l'Ingegneria Geotecnica, al pari dei fenomeni di dissesto che possono interessare manufatti civili o industriali.

Un caso giudiziario nel quale sono impegnato come consulente tecnico della parte offesa ha per oggetto il decesso di una persona investita dalla caduta di un albero. In tale caso (oggi nella fase dibattimentale), le attività di consulenza strutturale sono state coordinate con quelle degli esperti in Agronomia, sempre sotto la regia di un avvocato penalista con il quale sono state concordate le strategie difensive.

In generale, tutte le valutazioni di natura tecnica vanno contestualizzate in termini giudiziari, ovvero collocate all'interno della matrice del Diritto che costituisce filo conduttore di qualunque consulenza o perizia giudiziaria. Proprio gli operatori del Diritto (magistrati e avvocati) sono, infatti, gli interlocutori privilegiati dell'Ingegnere Forense.

La sinergia tra Ingegneria e Diritto ha, peraltro, in Italia origini lontanissime. Basti per tutti un esempio: la grandezza dell'Impero Romano non fu dovuta tanto alla potenza delle sue legioni quanto alle capacità dei suoi giuristi e dei suoi ingegneri, ovvero al suo Diritto e alla sua Ingegneria, in assenza dei quali sarebbe stato impossibile conquistare il mondo fino ad allora conosciuto. L'Ingegneria consentì, attraverso la costruzione di ponti e acquedotti, di collegare le diverse regioni e di approvvigionarle di acqua (elemento essenziale per la sopravvivenza), mentre il Diritto permise la convivenza fra tutti i popoli dell'Impero.

Nella chiosa di questa relazione introduttiva sento il dovere di ringraziare tutti coloro che hanno reso possibile il Congresso IF CRASC'15: Franco Bontempi e i suoi collaboratori, che si sono assunti l'onere organizzativo della manifestazione; Fulvio Parisi, sempre fattivamente presente nelle attività che conduco; i soci dell'AIF; gli autori e i congressisti. A tutti il mio sincero: Grazie!

INGEGNERIA FORENSE STRUTTURALE: BASI DEL PROGETTO E RICOSTRUZIONE DEI COLLASSI

F. Bontempi

Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

SOMMARIO

Il presente contributo è basato sull'idea che la ricostruzione di una crisi strutturale (semplice rottura o collasso vero e proprio) sia basata su una chiara, corretta, e profonda conoscenza e comprensione delle basi di progetto che portano alla concezione di una costruzione e del processo di analisi che ne verifica la sicurezza e le prestazioni.

Partendo da questa idea, l'articolo cerca di presentare in modo sintetico, ma ordinato, nell'introduzione l'orizzonte temporale e la traiettoria di vita che una costruzione può esperire, evidenziando nel successivo paragrafo il carattere sistemico di una struttura, ovvero enfatizzando la organizzazione gerarchica degli elementi strutturali che la formano: da questa ultima descrizione, si possono coerentemente valutare i livelli di crisi che si possono manifestare, giudicarne la gravità e indagarne i motivi.

Successivamente, una riflessione necessaria riguarda la natura delle azioni che possono cimentare una costruzione, con le loro origini e caratteristiche in termini di intensità, probabilità di accadimento e gravità di conseguenze. Questo è un aspetto delicato, che dà il giusto rilievo agli accadimenti e agli approcci di analisi e di indagine necessari: questo punto è analogo all'idea che in una costruzione non tutti gli elementi hanno le stesse caratteristiche e la stessa importanza. Queste considerazioni generali non appaiono adeguatamente rimarcate dal quadro normativo corrente, spesso più attivo nelle descrizioni di dettaglio.

Nel quarto paragrafo, si esamina la complessità di un problema strutturale (adattando uno schema noto in letteratura dai lavori di Perrow) e i differenti tipi di situazioni di progetto: evolutivo o innovativo. Questa distinzione è importante al fine di rendersi conto delle conoscenze (competenze) che si devono avere nell'affrontare il progetto: competenze che se mancanti o deficitarie possono essere origine di crisi strutturali.

Esaminati seppur brevemente questi punti (orizzonte temporale e prestazionale di una struttura, sua organizzazione sistemica, natura delle azioni che possono cimentarla, possibili ragioni della complessità del problema strutturale associato), nel quinto paragrafo, si riporta il modello generale della genesi e dello sviluppo di un fallimento strutturale secondo Reason. L'ultimo paragrafo fornisce, infine, indicazioni sulla ricostruzione dell'evento e la risalita alle responsabilità dal punto di vista ingegneristico.

1. INTRODUZIONE

La progettazione strutturale corrente si trova a dovere affrontare costruzioni con un grado di complessità notevolmente maggiore che in passato, a causa di più stretti requisiti prestazionali, legati a interazioni con l'ambiente e lungo un preciso orizzonte temporale. I vincoli economici e la sostenibilità ambientale costringono, infatti, a considerare un insieme di problematiche che possono essere riassunte nella Fig.1 (Arangio, Bontempi, Ciampoli, 2011; Arangio, Bontempi, 2010). Nel diagramma ideale riportato, si individua:

1. sull'asse verticale, l'integrità strutturale che riassume sinteticamente la qualità di una costruzione: essa è il complesso di tutte le caratteristiche strutturali (rigidezza, resistenza, stabilità, duttilità,...) che caratterizzano una costruzione in termini di funzionalità e di sicurezza;
2. lungo il corso della vita di una costruzione, si può intendere che questa qualità degradi: in effetti, a causa delle continue azioni ambientali, della fatica dovuta a azioni cicliche, dell'invecchiamento endogeno, si ha una progressiva diminuzione di integrità strutturale; accanto a questo processo continuo, eventi specifici, discreti, come azioni accidentali o errori di origine antropica, possono provocare brusche perdite di integrità strutturale; in definitiva, con "durabilità" si misura la capacità di una struttura di avere un limitato degrado nel tempo, mentre la "robustezza" è la proprietà della struttura di mostrare un limitato e proporzionale degrado a seguito di un evento negativo;
3. l'integrità strutturale è quindi rappresentabile lungo la vita della costruzione da un punto che percorre una traiettoria come indicato in Fig.1; nel caso questa integrità scenda sotto un livello inaccettabile, può decidersi un ripristino della struttura: in termini generali, la facilità con cui una struttura o una infrastruttura può ripristinare la sua qualità è definita "resilienza".

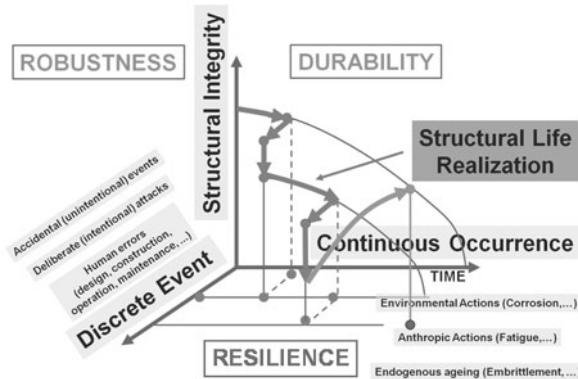


Figura 1. Interazioni ambientali e orizzonte temporale nella progettazione strutturale: integrità strutturale, durabilità, robustezza e resilienza.

A questo quadro evolutivo, corrispondono configurazioni differenti della struttura: con riferimento alla Fig.2, si possono individuare le condizioni "as designed", ovvero come la struttura è concepita e dimensionata idealmente, "as built" ovvero come essa è realizzata con le

inevitabili imperfezioni e i possibili errori, “as actual” con le caratteristiche correnti in un certo istante, e, infine, “as failed” ovvero come appare la costruzione in seguito a una crisi strutturale.

L’Ingegneria Forense intesa come studio delle crisi strutturali appare quindi come l’ultima frontiera per comprendere sia il comportamento strutturale, eventualmente affetto da errori e debolezze latenti, sia l’insieme delle azioni, remote o contingenti, che hanno portato al crollo. In questo senso, l’Ingegneria Forense deve ricostruire a ritroso la traiettoria di vita della costruzione e appare quindi un procedimento inverso rispetto alla progettazione strutturale: quest’ultima prevede il futuro, mentre la prima deve ricostruire il passato.

Proprio per questo, il presente articolo vuole, da una parte, evidenziare i punti critici della progettazione strutturale, e dall’altra evidenziare come la comprensione e la ricostruzione di questi punti costituisce compito della Ingegneria Forense; allo stesso tempo, questo permette di evidenziarne il ruolo nell’avanzamento della conoscenza necessaria alla progettazione strutturale.

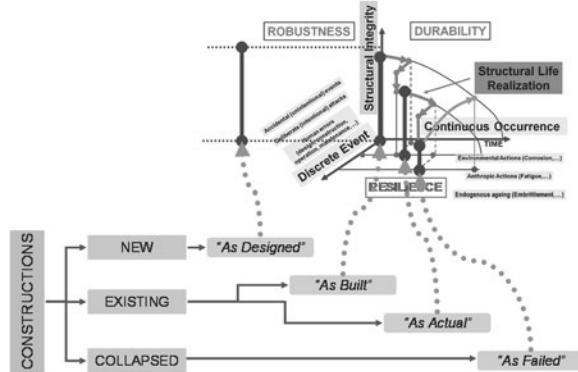


Figura 2. Evoluzione dell’integrità strutturale lungo la traiettoria di vita di una costruzione: configurazioni “as designed”, “as built”, “as actual” e “as failed”.

2. SISTEMA STRUTTURALE E SUE CARATTERISTICHE

L’Ingegneria Strutturale è un settore trasversale che si basa su concetti, principi, metodologie di analisi e progetto comune ai vari ambiti di applicazione: infatti, termini come equilibrio, congruenza, sicurezza sono intesi in ambito Civile, Meccanico, Aeronautico, Navale, ecc.

Nonostante ciò, il settore Civile ha sempre avuto delle peculiarità legate, da una parte, al fatto di non avere, generalmente, una produzione ripetitiva di costruzioni (tipica dei settori industrializzati) e dall’altro di affrontare condizioni intrinseche (caratteristiche dei materiali utilizzati) e al contorno (carichi, vincoli, ecc.) soggette ad un elevato grado di ambiguità e incertezza. Nel tempo, questo ha comportato uno sviluppo di procedimenti di analisi e di progetto anche, alle volte, efficaci, ma spesso largamente incoerenti e approssimati.

Questa mancanza di coesione di impostazione è stata anche alimentata da quadri normativi spinti perniciosa mente a livelli di dettaglio tali da far perdere l’unitarietà della concezione strutturale e dei problemi di analisi e progettazione. In questo senso, paradossalmente il qua-

dro normativo appare essere una delle cause della perdita della capacità di analizzare compiutamente i problemi strutturali e di risolverli sintetizzando soluzioni corrette. A contribuire a questa perdita, concorre anche la gran parte della formazione universitaria, piegata sulla mera riproposizione degli aspetti normativi piuttosto che impegnata nella educazione ai concetti fondanti l'Ingegneria (Simon, 1996).

Un ulteriore fattore disgregante appare essere l'uso superficiale dei codici di calcolo strutturale: l'introduzione generalizzata di mezzi di calcolo automatico che avrebbe dovuto liberare i progettisti dagli aspetti più ripetitivi dell'analisi strutturale, ha invece spesso appiattito gli aspetti più nobili della concezione strutturale al rispetto pedante delle verifiche normative.

Questa perdita di visione unitaria nella concezione strutturale e nel processo di verifica della sicurezza di una costruzione appare essere diffusamente una causa di insuccesso nell'Ingegneria Strutturale Civile. D'altra parte, questo modo di procedere, largamente incoerente e sconnesso, perso negli aspetti di dettaglio, appare non più accettabile dalle esigenze della attuale Società Civile che richiede costruzioni e infrastrutture sempre più complesse, soddisfacenti sempre più ampi requisiti con condizioni al contorno sempre più varie, soggette a precisi e stringenti limiti di sostenibilità. Un esempio di quanto possa essere complesso attualmente il progetto di una costruzione è illustrato in Fig.3 dove sono compresi i punti necessari nel preciso caso di sicurezza antincendio (ISO 13387; Arangio, Bontempi, 2013).

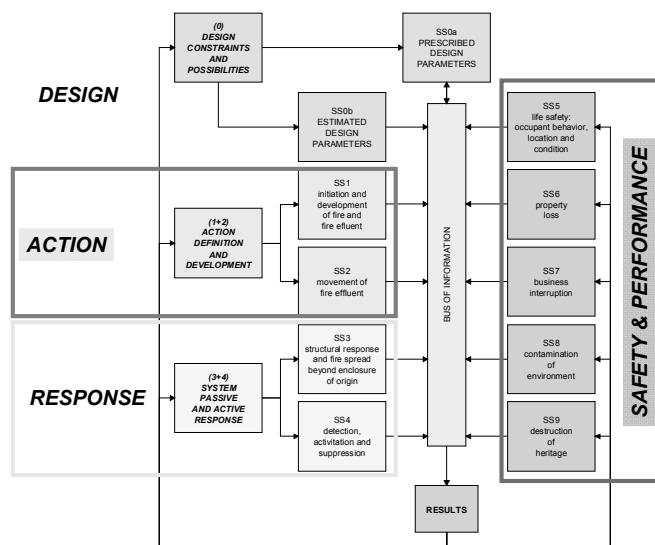


Figura 3. Quadro di riferimento per la progettazione antincendio di una struttura.

La visione attuale di come debba intendersi una costruzione richiede il riferimento al concetto di sistema nei termini più generali. Questa visione considera la costruzione come un insieme organizzato e gerarchico di parti. Nella Fig.4 si illustra questo punto, dove lo schema teorico (a) che illustra come si dispiegano i successivi livelli di scala strutturale sono applicati in (b) a un ponte sospeso; infine, in (c) si correla la definizione delle variabili di progetto alle prestazionali (Bontempi, 2005; Bontempi, 2006; Petrini, Manenti, Gkoumas, Bontempi, 2010).

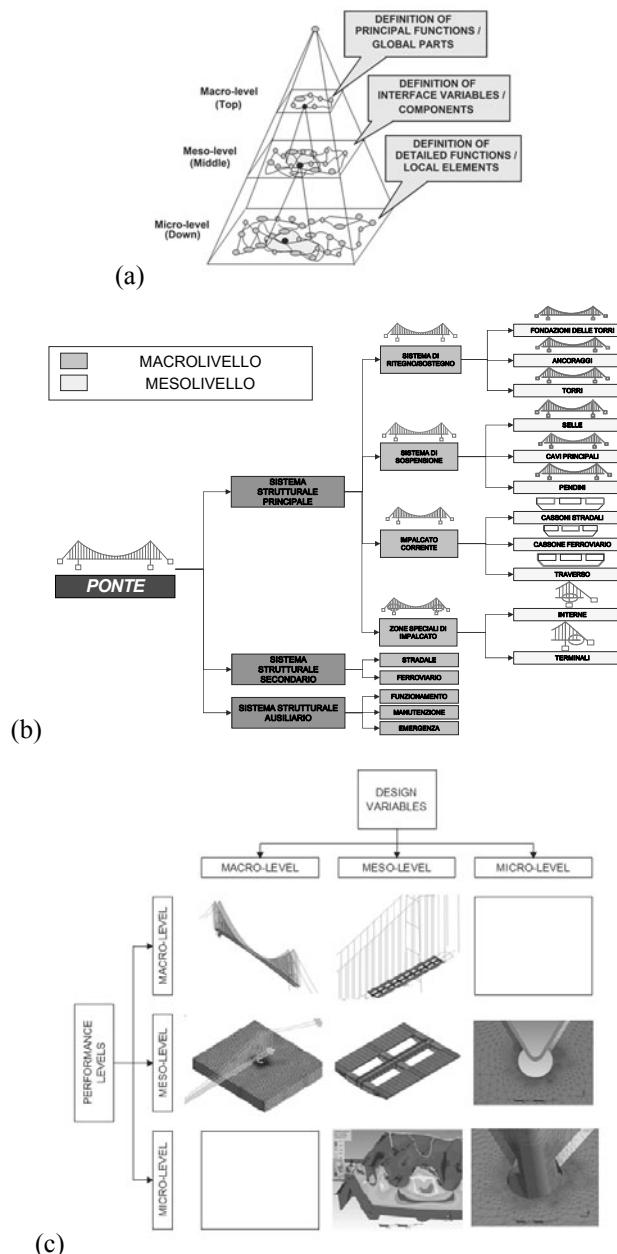


Figura 4. Sistema strutturale: a) schema teorico di scomposizione a differenti livelli (macro-meso-micro); b) applicazione ad un ponte sospeso; c) organizzazione delle variabili di progetto e dei livelli prestazionali ai diversi livelli.

Questo inquadramento sistematico permette l'individuazione, ad esempio, di elementi critici o di zone che possono svolgere un ruolo sacrificale per determinati livelli di azione.

In termini generali, questa impostazione permette di riconoscere conseguentemente i differenti livelli di crisi strutturale. Con riferimento ad un semplice telaio soggetto ad una forza orizzontale rappresentato in Fig.5, si vede come la crisi si può manifestare I) a livello puntuale (come assunto dal metodo alle tensioni ammissibili), II) a livello sezionale (come assunto per le verifiche di resistenza nel formato agli stati limite), III) a livello di elemento come assunto nelle verifiche di instabilità), IV) a livello complessivo di struttura (Bontempi, Arangio, Sgambi, 2008).

Questi livelli di crisi, si presentano in genere in successione, con progressivi gradi di rilevanza: i primi tre possono essere associati agli usuali formati di verifica agli Stati Limite, mentre solo l'ultimo permette di valutare compiutamente il riverbero delle crisi locali sulla intera struttura. Questo è in particolare utile nel caso di verifiche di robustezza strutturale, in cui la struttura è esaminata in condizioni non più nominali, ovvero nel suo stato perfetto e integro, ma nello stato danneggiato o in una configurazione errata (Fig.6) (Starossek, 2009). Non solo. La visione sistematica, che considera la struttura nel suo complesso, permette di discriminare anche tra meccanismi di collasso con differente natura: con riferimento alla Fig.7, è evidente che, a parità di moltiplicatore di carico, una modalità di collasso di tipo "no sway" è da preferirsi a una modalità di tipo "sway" che può coinvolgere altre strutture e propagarsi, risultando in possibile effetto domino, ovvero in un collasso progressivo. Questo livello di impostazione è quello richiesto nei casi di scenari estremi in cui può trovarsi la struttura, in cui è necessario giudicare anche collassi "buoni" o "cattivi" (Bontempi, 2006).

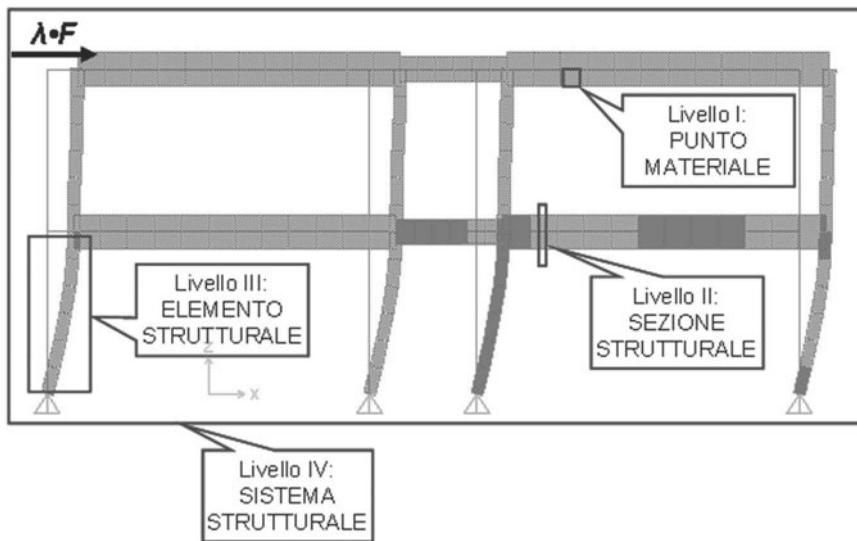


Figura 5. Livelli di crisi strutturale: I) puntuale; II) sezonale; III) elemento; IV) struttura.

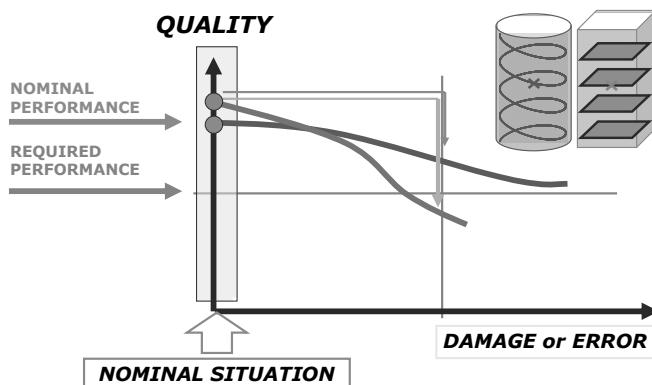


Figura 6. Robustezza strutturale: progressivo degrado della qualità strutturale dalla configurazione nominale a quella in cui è presente danneggiamento o errore.

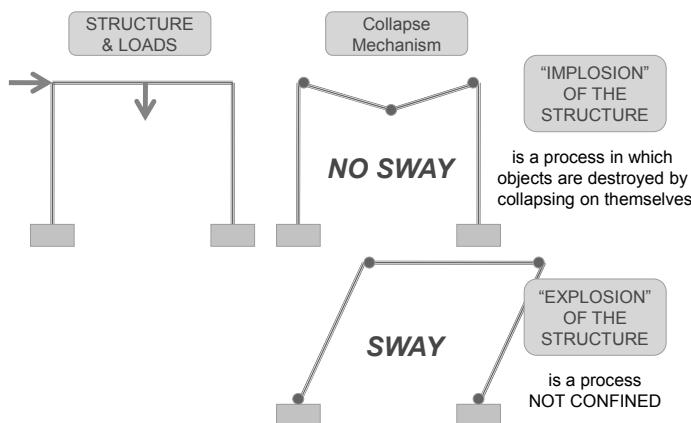


Figura 7. Meccanismi di collasso con differente natura: carattere implosivo del collasso “no sway” e carattere non confinato del collasso “sway”.

3. AMBIENTE DI PROGETTO, ORIZZONTE TEMPORALE E NATURA DELLE AZIONI

Il sistema strutturale così individuato è soggetto ad una molteplicità di azioni. Una costruzione nello spazio interagisce con l’ambiente circostante. Facendo riferimento alla Fig.8, ad esempio, ad azioni ambientali come il vento o le onde marine, si distingue in generale (Petrini, Li, Bontempi, 2010; Gkoumas, Li, Zhou, Petrini, Bontempi, 2011):

- una regione dello spazio distante dalla struttura, in cui le azioni non risentono della presenza della costruzione (“far field region”);

- b) una regione dello spazio in cui le azioni risentono della presenza della costruzione e interagiscono con essa (“exchange zone”);
- c) quando queste azioni sono trasformate in carichi agenti sulla struttura propria.

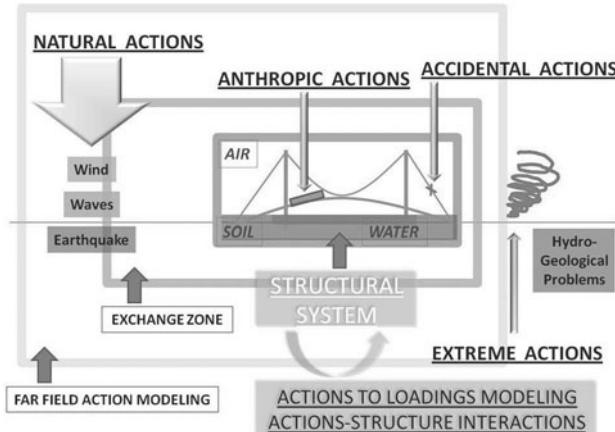


Figura 8. Ambiente di progetto: “far field region” e “exchange zone”.

E' nota l'idea che possano svilupparsi fenomeni di interazione aero-elastica o idro-elastica. Una situazione meno apparente si ha quando anche il comportamento umano può influire con retroazioni la dinamica dello svolgimento dell'azione sulla struttura. E' questo il caso delle situazioni che coinvolgono l'azione incendio (Gentili, Giuliani, Bontempi, 2011): con riferimento alla Fig.9, accanto alle interazioni “incendio - diffusione del calore - riposta termomeccanica”, le azioni delle persone presenti nella costruzione possono condizionare lo svolgimento dell'incendio, ad esempio favorendone la propagazione nel caso siano aperte delle porte tagliafuoco. La cosa ovviamente si complica nel caso di costruzioni in cui siano presenti impianti speciali e industriali. E' bene sottolineare che queste situazioni aggiungono una dimensione nuova rispetto alle azioni ambientali usuali, dove, ad esempio in caso di sisma, il comportamento umano non influenza lo svolgimento dell'azione. In assenza di tale interazione con il comportamento umano, tali azioni si presentano più semplici.

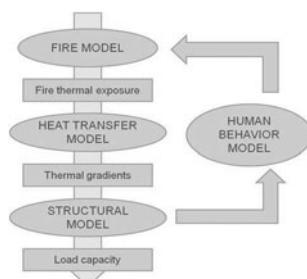


Figura 9. Fenomeni di retroazione nello sviluppo dell'azione incendio.

Una seconda considerazione riguarda l'orizzonte temporale che coinvolge la struttura: tanto più lunga è la vita della struttura, tanto più ampio risulta lo spettro, per tipologia e per intensità, delle azioni che la struttura può esperire. Tra tutte queste azioni, una prima suddivisione può essere tra quelle che possono essere caratterizzate statisticamente e quelle che non possono.

La Fig.10 aiuta a comprendere questo punto, facendo riferimento anche alla frequenza con cui le azioni si presentano. Infatti, se genericamente con D si indica l'intensità dell'azione (“domanda”), si trovano via via frequenze minori e intensità maggiori passando da situazioni legate all'uso della struttura (funzionalità della struttura - Stati Limite di Esercizio), situazioni legate a possibili crisi strutturali (sicurezza - Stati Limite Ultimi). Infine, esiste la possibilità di azioni estreme, accidentali o eccezionali (da considerare in termini di robustezza strutturale e di collasso progressivo, attraverso adeguati Stati Limite di Integrità Strutturale).

Se è vero che tutte le azioni precedenti sono situazioni individuate dalla tecnica, seppur con differenti gradi di definizione, sono stati recentemente considerati anche altri scenari in cui avvengono eventi chiamati “black-swan”. In questi casi, si assimila un evento con un forte impatto e con un carattere di sorpresa: d'altra parte, una volta accaduto l'evento, questo viene razionalizzato a posteriori. E' enfatizzato in questo modo il ruolo sproporzionato degli eventi a forte impatto, rari e difficili da prevedere rispetto alle normali aspettative nell'ambito della storia, della scienza, e della tecnica e l'impossibilità di calcolare la probabilità di progressione di eventi rari e la loro concatenazione (Olmati, Petrini, Bontempi, 2013).

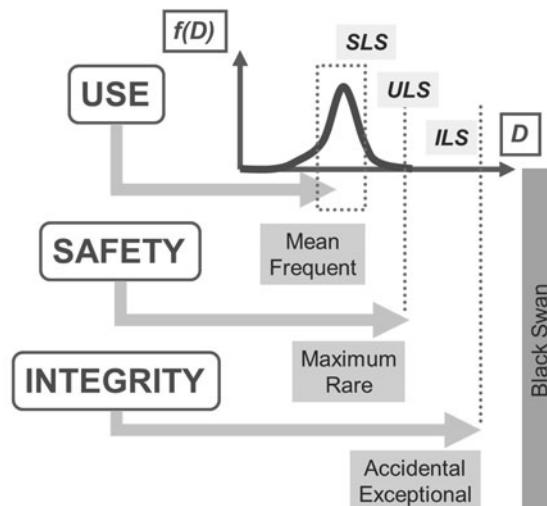


Figura 10. Domanda.

In termini sintetici, le azioni ovvero gli eventi che possono manifestarsi lunga la vita di una costruzione possono essere distinti fra eventi frequenti e con conseguenze limitate (High Probability – Low Consequences events: HP-LC events), ed eventi rari con grandi conseguenze (Low Probability – High Consequences events: LP-HC events).

La Tab.1 sancisce le caratteristiche di queste due categorie di eventi: le prime tre righe considerano “energia - rotture – persone” coinvolte; le tre righe successive, “non linearità – interazioni – indeterminazioni” presenti; le ultime due, puntuizzano le possibilità di scomporre l’evento e predirne l’evoluzione.

Questa distinzione tipologica comporta anche una differenziazione di approccio di analisi. Infatti, con riferimento alla Fig.11 si può vedere come varia l’inquadramento di studio: situazioni elementari o semplici, possono essere affrontate in un quadro deterministicamente, con assunzioni precise e di limitata ricaduta. Al crescere della complessità del problema in esame, in cui compaiono comportamenti non lineari e indeterminazioni, approcci di tipo probabilistico possono essere i più appropriati, ma all’ulteriore aumento della complessità, alla mancanza di base statistica, si può solo fare affidamento ad approcci di tipo pragmatico, basati sulla individuazione pragmatica di scenari supportati da giudizio esperto (Gkoumas, Crosti, Giuliani, Bontempi, 2009).

Aspects	HPLC High Probability - Low Consequences	LPHC Low Probability - High Consequences
Release of energy	SMALL	LARGE
Numbers of breakdown	SMALL	LARGE
People involved	FEW	MANY
Nonlinearity	WEAK	STRONG
Interactions	WEAK	STRONG
Uncertainty	WEAK	STRONG
Decomposability	HIGH	LOW
Course predictability	HIGH	LOW

Tabella 1. Caratteristiche eventi HPLC e LPHC.

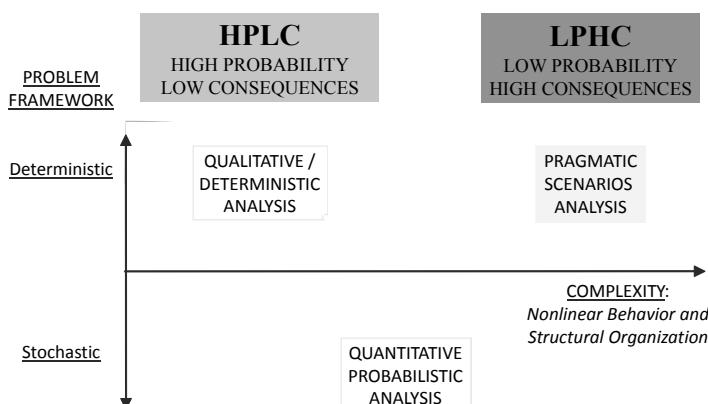


Figura 11. Inquadramento di situazioni HPLC e LPHC e differenziazione di approccio di analisi.



IL CROLLO DI UN EDIFICIO DOVUTO A SPROFONDAMENTO

N. Augenti

Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II

SOMMARIO

La presente memoria ha per oggetto il crollo di un edificio per civili abitazioni che, nel mese di luglio dell'anno 2010, è sprofondato in una voragine provocando la morte di tre persone e il ferimento di un'adolescente.

In seguito al procedimento penale iscritto dalla Procura della Repubblica presso il Tribunale di Napoli nei confronti di persone da identificare in ordine ai reati di cui agli articoli 434 e 449 c.p., le indagini ripetibili (ex art. 359 c.p.p.) e quelle irripetibili (ex art. 360 c.p.p.), per l'individuazione delle cause del crollo e dei responsabili, sono state affidate all'autore che le ha espletate tra il mese di agosto del 2010 e il mese di novembre dell'anno 2011.

Nonostante i luoghi avessero subito notevoli modificazioni, sia per il recupero delle vittime e di una giovane superstite, sia per effetto di un intervento arbitrario condotto dall'amministrazione comunale su di un corsetto fognario privato ricadente nell'area del disastro, è stato possibile determinare la dinamica del collasso e le cause che lo avevano provocato. Queste ultime, unitamente alle procedure seguite durante le indagini, vengono esposte sinteticamente nel seguito mentre, essendo ancora in corso il processo penale, non è possibile pronunciarsi in merito alle responsabilità penali dei soggetti indagati.

1. IL CROLLO DELLA COSTRUZIONE

L'immobile oggetto della presente memoria era costituito da un edificio (comprendente tre piani fuori terra oltre ad un piano seminterrato) realizzato alla fine degli anni Sessanta, con struttura portante mista in muratura e conglomerato cementizio armato, sull'area di sedime di una vecchia costruzione (costituita da un piano terra coperto e da una stalla adiacente). Il prospetto principale del fabbricato, unitamente al cancello di accesso al cortile in condominio con altre abitazioni limitrofe, è visibile nella Figura 1.

Il crollo si è verificato il giorno 31 luglio 2010 alle ore 1.20 circa del mattino, cogliendo nel sonno le quattro persone presenti nell'edificio.

In seguito alla febbre attività condotta dai Vigili del Fuoco (manualmente e con l'ausilio di mezzi meccanici), dopo circa 9 ore sono stati recuperati i primi due corpi privi di vita; alle ore 12.30 è stata individuata la terza vittima e, infine, alle ore 16.30 circa è stata estratta ancora viva dalle macerie l'unica sopravvissuta.



Figura 1. Prospetto principale dell’edificio prima del crollo.

Nella Figura 2 è possibile osservare le macerie dell’edificio crollato e una fase delle operazioni di soccorso, terminate le quali i luoghi venivano sottoposti a sequestro probatorio dall’Autorità Giudiziaria.

Per gli edifici prospicienti l’area cortilizia comune veniva disposto, invece, lo sgombero cautelativo da parte dell’amministrazione comunale.

Nonostante il provvedimento di sequestro disposto dal magistrato inquirente, però, il giorno successivo a quello del crollo i luoghi venivano illegittimamente modificati da un intervento operato, per disposizione dei tecnici comunali, sul corsetto fognario privato (esistente nell’area comune di accesso all’edificio crollato e a quelli adiacenti). In particolare l’Amministrazione comunale, senza chiedere alcuna preventiva autorizzazione alla Magistratura, aveva affidato ad un’Impresa fiduciaria alcuni “lavori di somma urgenza” motivati dall’esigenza che, in caso di pioggia, le acque si sarebbero potute riversare nel sottosuolo creando nuove situazioni di pericolo.

I lavori che avevano prodotto la modifica dei luoghi, erano consistiti essenzialmente: - nella rimozione del collettore fognario privato in muratura pre-esistente, per la lunghezza di circa 10 m; - nella posa in opera di una tubazione in PVC tra il tronco di collettore residuo e l’imbocco nella fogna comunale; - nel ricoprimento dello stesso con un getto di calcestruzzo; - nel riempimento della traccia con terreno.

L’operazione di manomissione compiuta sulla rete fognaria privata esistente, però, non poteva avere giustificazione alcuna in quanto, l’eventuale esigenza di riattivare con urgenza la funzionalità delle condotte avrebbe dovuto comportare la realizzazione di un “by-pass” nell’impianto e non lo stravolgimento di esso. In ogni caso, essendo i luoghi posti sotto sequestro giudiziario, sarebbe stato assolutamente necessario chiedere la preventiva autorizzazione ai Magistrati e, comunque, documentare pedissequamente tutte le fasi di intervento.



Figura 2. I luoghi dopo il crollo e le operazioni di soccorso.

2. LE INDAGINI CONDOTTE

Dopo aver acquisito tutta la documentazione disponibile, tramite la Polizia Giudiziaria, la prima fase delle indagini in situ è consistita nella “rimozione controllata” delle macerie (tenendo conto del fatto che essere risultavano comunque manomesse per effetto delle operazioni di recupero delle vittime e di salvataggio del superstite).

Nella Figura 3 è possibile osservare i luoghi oggetto di crollo così come si sono presentati all'inizio delle operazioni d'indagine.



Figura 3. Stato dei luoghi all'inizio delle operazioni d'indagine.

I lavori sono iniziati rimuovendo tutto il materiale rimaneggiato per effetto delle operazioni di soccorso e accumulato nell'area del crollo. Successivamente è stata “messa in luce” la parte residua del piano seminterrato, unitamente alla sovrastante rampa di scala.

Si è proceduto, quindi, ad approfondire gli scavi rimuovendo le macerie al di sotto del livello stradale, anche nella zona antistante il piano seminterrato, fino a raggiungere la profondità di 3.80 m circa rispetto al piano carrabile (oltre la quale è apparso pericoloso spingersi). Nella Figura 4 è possibile osservare una delle fasi di scavo.



Figura 4. La fase di massimo approfondimento degli scavi.

Le operazioni sono proseguite con la rimozione delle macerie verso il lato nord, fino a quando non sono state rinvenute alcune strutture in conglomerato cementizio armato appartenenti all’impalcato, di copertura del piano rialzato e di calpestio del primo piano, comprendenti la trave perimetrale (lato nord), oltre a tronchi dei pilastri ad esso sovrastanti e sottostanti (visibili nella Figura 5).

Confrontando la profondità alla quale erano state rinvenute le strutture di copertura del piano rialzato con la quota che esse possedevano prima del crollo, è stato possibile stabilire che l’edificio era sprofondato di circa 7.00 m durante il collasso. Ciò ha fatto presumere che al di sotto della costruzione rovinata dovesse esistere una cavità.

L’impossibilità di procedere ad ulteriori scavi, per il rischio di minare la sicurezza delle strutture circostanti e di mettere a repentaglio l’incolumità degli operai, ha fatto sì che si desistesse dal proseguire nella rimozione delle ultime macerie e dall’approfondire ancor più gli sbancamenti eseguiti.

I lavori sono proseguiti invece, mettendo a nudo il nuovo tubo in PVC con il quale (violando il sequestro disposto dall’Autorità Giudiziaria) era stato sostituito il vecchio corsetto fognario privato, esistente prima del crollo. In particolare, sono stati anche evidenziati gli innesti della nuova tubazione, sia con il collettore comunale principale che con il vecchio collettore privato esistente nell’area cortilizia comune.



Figura 5. Ritrovamento di elementi in c.a. delle strutture crollate.

Allo scopo di individuare l'eventuale presenza di cavità nel sottosuolo non censite, al di sotto dell'area di sedime dell'edificio, sono state anche condotte ispezioni nei cantinati degli edifici circostanti e addirittura all'interno di un pozzo molto profondo, di difficile accessibilità che, attraverso un cunicolo sotterraneo (ingombro di vecchie demolizioni), conduceva verso il sito del fabbricato crollato. Tali ricerche hanno prodotto, però, tutte esito negativo.

A conclusione di questa prima fase di indagini, essendo divenuto molto pericoloso approfondire ulteriormente gli scavi, si concordava con le Parti di procedere al riempimento degli stessi e di proseguire le indagini attraverso sondaggi. Il riempimento degli scavi, oltre che risultare opportuno per la sicurezza degli edifici in muratura circostanti, costituiva anche presupposto essenziale per il prosieguo delle attività di consulenza attraverso l'esecuzione di sondaggi geognostici.

Nella Figura 6 è possibile osservare lo stato dei luoghi alla fine di tutti gli scavi operati e prima della fase di riempimento.

La circostanza emersa nel corso delle indagini condotte in situ, che l'edificio era sprofondato nella sua parte estrema per circa 7 m, ha fatto ipotizzare la presenza di cavità sotterranee divenute recapito per i terreni sottostanti la costruzione. Si è perciò ritenuto di affrontare il problema operando preventivamente un esame delle cavità censite e, poiché nessuna di esse ricadeva nell'area del crollo, si è reso necessario eseguire una campagna di indagini geognostiche nell'area. Nella Figura 7 si può osservare una di tali fasi.

L'intera campagna si è articolata in complessivi n. 13 sondaggi a carotaggio continuo che, dopo aver attraversato la sequenza piroclastica incoerente, sono stati spinti all'interno del substrato ignimbritico fino a profondità variabili tra 18.50 m e 21.00 m.



Figura 6. Vista dall'alto dei luoghi al termine degli scavi.



Figura 7. Esecuzione di indagini geognostiche.

Per una migliore comprensione delle attività d’indagine condotte, nella Figura 8 sono state riportate schematicamente: - la sagoma dell’edificio crollato e l’area interessata dal crollo; - la posizione delle strutture in conglomerato cementizio armato relative all’impalcato di copertura del piano rialzato, ritrovate durante gli scavi; - le strutture residue del piano seminterrato; - la posizione dello speco fognario comunale e della condotta idrica lungo la strada principale; - la posizione del collettore fognario privato, con indicazione del vecchio speco e del nuovo tubo in PVC; - l’ubicazione dei punti ove sono stati eseguiti i carotaggi. Il lavoro condotto ha consentito, non solo di individuare la presenza di una cavità (nel substrato ignimbritico) al di sotto dell’edificio crollato, ma anche di ricostruire eventi precedenti al collasso, particolarmente utili ai fini della presente indagine.

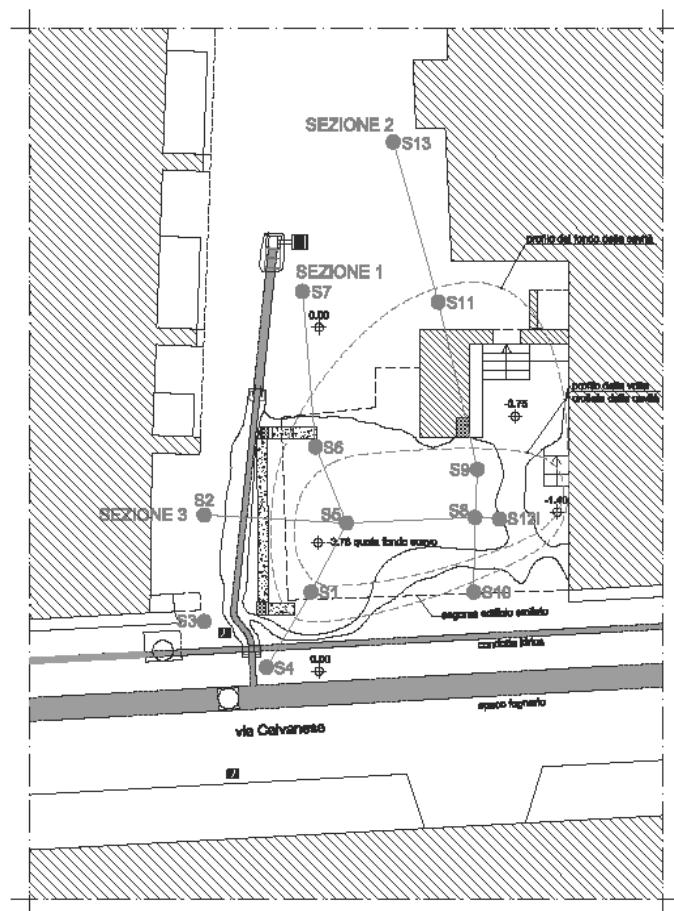


Figura 8. Planimetria schematica di luoghi e posizione dei sondaggi.

I carotaggi eseguiti hanno consentito di individuare tre differenti tipologie di materiali: - depositi riferibili alla sequenza stratigrafica naturale presente perimetralmente all'area del crollo; - depositi connessi al crollo; - piroclastiti ridepositate in seguito a processi di dilavamento e trasporto, precedenti l'epoca del collasso. La successione stratigrafica dei materiali trivellati lascerebbe supporre che la volta di copertura della cavità sia crollata in più fasi. La superficie di estradosso del banco tufaceo è stata rinvenuta a profondità variabili tra 9.40 m e 10.40 m dal piano di campagna mentre, in corrispondenza del sondaggio S8, è parso di individuare i resti di una struttura lapidea crollata che potrebbe identificarsi con il pozzo e con la scala di accesso alla cava, realizzati con tufo (grigio) differente da quello del banco presente in sito. Il colmo d'intradosso della volta di copertura della cavità e il fondo sono stati individuati, rispettivamente, alla profondità di circa 10.80 m e circa 18.50 m dal

piano di campagna. Da notare che i sondaggi hanno evidenziato, sul fondo della cavità, una stratificazione di materiali dovuta a pregresse infiltrazioni di acqua nei terreni. In particolare, a partire dal fondo, è stata intercettata una sequenza di strati progressivamente ridepositati dalle acque, coperti da materiali in crollo, che hanno occupato lo spazio libero esistente tra i detti depositi e la volta. Questa stratificazione è stata certamente alimentata dal dilavamento della stratigrafia incoerente presente al di sopra del banco tufaceo. La tessitura dei singoli livelli, la sequenza granulometrica e l'elevato contenuto di umidità indicano inequivocabilmente meccanismi di trasporto e deposizione legati alla presenza di acqua. Si tratta di depositi accumulatisi successivamente a causa di infiltrazioni che hanno prodotto un fenomeno di sedimentazione protrattosi per lungo tempo prima del crollo.

Nella Figura 9 è stata riportata la Sezione 1 ricostruita sulla base dei sondaggi eseguiti.

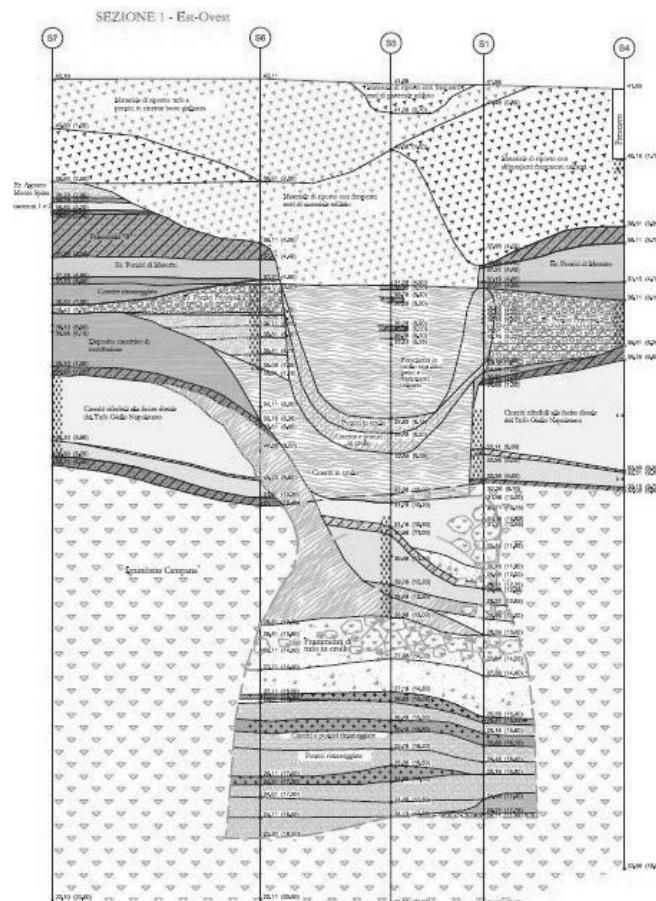


Figura 9. Sezione 1 ricavata in base ai sondaggi geognostici.

Al fine di individuare la possibile provenienza delle acque infiltratesi al di sotto dell'area di sedime dell'edificio crollato, è stata effettuata una verifica sullo stato di conservazione del collettore fognario comunale sottostante la strada pubblica, per una lunghezza di 90 m circa. Le attività condotte sono consistite nell'espurgo del tratto interessato, nella pulizia degli specchi mediante idro-getto e nella video-ispezione mediante telecamera robotizzata.

3. LE CAUSE DEL CROLLO

Alla luce delle indagini condotte, è stato possibile formulare le ipotesi sulla dinamica del crollo, che si possono così sintetizzare.

- Infiltrazioni di acque di origine fognaria, percolate per un lungo lasso di tempo nel terreno sottostante l'area di sedime dell'edificio crollato e la zona ad essa circostante, hanno dilavato i depositi piroclastici presenti all'estradosso del banco tufaceo e, attraverso l'erosione degli strati più permeabili di sottosuolo, hanno dato luogo a piccole voragini (occulte o palesi).
- Le piroclastiti, rimaneggiate e trasportate dalle acque, sono state depositate all'interno della cavità presente nel banco di tufo. Il fenomeno è stato favorito dalla diffusa presenza di vene di lapillo e di un recapito dei materiali costituito dalla detta cavità. Notevoli quantità di materiali piroclastici, penetrati per filtrazione e sedimentatisi progressivamente, sono stati ritrovati al di sotto dei blocchi di tufo "in crollo" della volta e dei terreni ad essa sovrastanti. Il trasporto dei materiali piroclastici può essere stato favorito anche dalla presenza di antiche vie d'accesso alla cavità (pozzi) inutilizzate.
- L'erosione del terreno protrattasi nel tempo ha prodotto vuoti nel masso teroso, sempre più ampi e diffusi, che hanno provocato anche crolli parziali della volta della cavità, determinando lo scivolamento delle piroclastiti sovrastanti (bagnate o satute), sino all'evento principale coinciso con lo sprofondamento dell'angolo nord-ovest dell'edificio.
- L'azione impulsiva esercitata dalla caduta del fabbricato ha definitivamente sfondato la copertura della cavità sottostante, facendo riversare al suo interno, prima i terreni su cui era fondato l'edificio e successivamente le macerie dello stesso. Lo sprofondamento di circa 7 m accertato in corrispondenza dell'angolo nord-ovest del fabbricato e la massa di macerie precipitata nella voragine, sono perfettamente compatibili con le caratteristiche della cavità sottostante e con i volumi disponibili.

Il nesso causale del crollo è stato rappresentato dalle infiltrazioni di acque (certamente di origine fognaria) penetrate per lungo tempo nel terreno già prima del crollo.

Una concausa è stata invece costituita dalla presenza della cavità individuata al di sotto dell'area di sedime dell'edificio, che ha costituito recapito per le piroclastiti trasportate dagli strati originari. Anche il pozzo di accesso alla cavità può aver favorito il trasporto dei materiali e, dunque, il fenomeno di erosione del terreno di fondazione del fabbricato.

Per l'individuazione della provenienza delle acque infiltrasce nel terreno, che come si è detto costituiscono la causa prima del crollo, è stato necessario indagare sui collettori fognari (privato e comunale), circostanti l'area di sedime dell'edificio.

È stato escluso, viceversa, che le acque potessero provenire dalla condotta idrica, non solo perché sulla stessa non è stato riscontrato alcun danno, ma anche perché la rottura di una tubazione in pressione produce dissesti che evolvono nell'arco di poche ore.

Al contrario, invece, i moti di filtrazione accertati sono stati certamente lenti e prolungati nel tempo, anche se le abbondanti piogge verificatesi nelle ore immediatamente precedenti il crollo possono aver provocato un'improvvisa accelerazione del fenomeno.

Le incontestabili infiltrazioni d'acqua nel sottosuolo e i fenomeni da esse progressivamente generati devono aver dato luogo di certo a segni premonitori, già molto prima del fenomeno di collasso avvenuto nelle prime ore del 31.07.2010.

Unitamente alle difficoltà di chiusura del cancello di accesso all'area cortilizia comune con altre abitazioni e delle porte interne agli appartamenti, è quasi sicuro che nei mesi precedenti si siano manifestati cedimenti localizzati del suolo (piccole voragini) o dissesti isolati nelle strutture dell'edificio o manifestazioni di imbibimento dei terreni.

Tali fenomeni, che generalmente precedono gli eventi di crollo, sono perfettamente congruenti con le deposizioni rese ai Carabinieri, nell'imminenza dell'evento, da "persone informate sui fatti".

Se tali segnali fossero stati colti per tempo, si sarebbe potuta evitare perlomeno la perdita di vite umane, oltre a rilevanti danni economici.

In definitiva, atteso che l'origine del crollo era da ricercare nelle infiltrazioni di acque reflue, si è indagato sulle condizioni dei collettori fognari, pubblici e privati. Come si è già detto, però, le prove sono state inquinate dal grave comportamento messo in atto dall'impresa incaricata dall'Amministrazione comunale che, senza autorizzazione alcuna della Magistratura Inquirente e senza alcuna comunicazione preventiva alla stessa, ha quasi completamente eliminato il corsetto fognario privato presente nell'area cortilizia condominiale, sostituendolo con una nuova tubazione in PVC. Tale azione ingiustificabile, che ha di fatto cancellato elementi essenziali per provare il coinvolgimento o l'estranchezza dei soggetti indagati, ha parzialmente pregiudicato l'individuazione univoca delle responsabilità.

Ferma restando, dunque, l'impossibilità di ricavare elementi probatori relativi alle condizioni del corsetto fognario privato, sono stati condotti accertamenti solamente sulle parti residue di esso e sullo stato del collettore fognario comunale.

Del pari, è stato arduo indagare sulla residua rete di smaltimento delle acque dell'edificio crollato poiché, a causa del disastro e della modifica delle macerie operata per recuperare vittime e superstite, i luoghi erano stati completamente sconvolti.

Per quanto riguarda il corsetto fognario condominiale, gli accertamenti in situ hanno permesso di accettare che esso era costituito da uno speco in calcestruzzo con sezione ad U, coperto da basoli semplicemente appoggiati sulle spallette e accostati tra loro.