



La banda larga
mobile
tra presente
e futuro

PAGINA 3



Affidabilità
e sicurezza dei
sistemi innovativi di
comando/controllo

PAGINA 9



SCIA e VVF
Nuova
classificazione

PAGINA 41

ISSN 2038-4742

numero **1**
gennaio-febbraio **2011**

Notiziario dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli

Ingegneri NAPOLI

POSTE ITALIANE S.P.A. - SPED. IN ABB. POST. - D.L. 353/2003 (CONV. IN L. 27.02.2004, N. 46) ART. 1, COMMA 1, DCB (NA)



SOMMARIO



Ingegneri Napoli

gennaio-febbraio
2011

Tecnologia

La banda larga mobile tra presente
e futuro / Parte prima

Mercato, tecnologie, opportunità e criticità

pag. 3

Tecnologia

Distretto aerospaziale:
indagine sul fabbisogno formativo

pag. 8

Modellistica

Affidabilità e sicurezza dei sistemi innovativi
di comando/controllo. Approcci basati
su modelli e loro applicazioni industriali

pag. 9

Modellistica

Modellazione affidabilistica del vento
Modelli per la valutazione delle variazioni della velocità del vento

pag. 21



In copertina: la sede ARIN di Napoli, in via Argine, già apprezzata per le sue forme architettoniche ed il look esterno, si è arricchita in questi giorni di un nuovo elemento: la sede di un asilo infantile per i figli dei dipendenti. L'edificio è stato inaugurato dal sindaco Iervolino.

gennaio-febbraio 2011

Bimestrale di informazione a cura del Consiglio dell'Ordine

Editore

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli

Direttore editoriale: Luigi Vinci

Direttore responsabile: Armando Albi-Marini

Redattori capo: Edoardo Benassai,
Pietro Ernesto De Felice, Mario Pasquino

Direzione, redazione e amministrazione
80134 Napoli, Via del Chiostro, 9
Tel. 081 5525604 – Fax 081 5522126
www.ordineingegnerinapoli.it
segreteria@ordineingegnerinapoli.it
c/c postale n. 25296807

Comitato di redazione: Luigi Vinci, Paola Marone,
Nicola Monda, Eduardo Pace, Marco Senese,
Annibale de Cesbron de la Grennelais, Giovanni Esposito,
Paola Astuto, Francesco Paolo Capone, Fabio De Felice,
Renato Iovino, Andrea Lizza, Giovanni Manco,
Salvatore Vecchione, Eduardo Sgro'

Coordinamento di redazione: Claudio Croce

Progetto grafico e impaginazione:
doppia voce

Stampa: Officine Grafiche Francesco Giannini & Figli s.p.a.
Via Cisterna dell'Olio, 6/B – 80134 Napoli

Reg. Trib. di Napoli n. 2166 del 18/7/1970
Spediz. in a.p. 45% – art. 2 comma 20/b – l. 662/96 Fil. di Napoli
ISSN 2038-4742

I contenuti possono essere modificati per esigenze di spazio con il massimo rispetto del pensiero dell'autore. Le riproduzioni di articoli e immagini sono consentite citandone la fonte. L'editore resta a disposizione di ogni eventuale avente diritto per le competenze su testi e immagini.



Associato U.S.P.I.
Unione Stampa Periodica Italiana

Tiratura: 13.000 copie
Finito di stampare nel mese di febbraio 2011



Sicurezza

Vulnerabilità sismica di edifici scolastici in muratura di Torre del Greco / Parte seconda

Analisi e confronto dei risultati

pag. 29



Istruzione

I nuovi istituti tecnici puntano alla qualità ma non rinunziano alla terminalità professionalizzante

pag. 39



Normativa

SCIA e VVF

Nuova classificazione

pag. 41



Ricerca

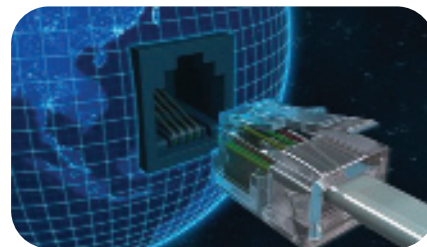
Affidabilità delle prove non distruttive nelle indagini sperimentali sui calcestruzzi

pag. 54

LA BANDA LARGA MOBILE TRA PRESENTE E FUTURO

PARTE PRIMA

Mercato, tecnologie, opportunità e criticità



1. Introduzione

Il 2009 è stato l'anno del boom del Mobile Internet. In un contesto mondiale dove il mercato della telefonia mobile ha registrato una crescita contenuta (soprattutto se confrontata a quella degli anni precedenti), il settore dei servizi di connessione ad Internet da rete mobile ha vissuto una grande espansione, con un cospicuo aumento degli utenti. Il primo semestre del 2010 ha confermato questo andamento. Il rapporto di Morgan Stanley sul Mobile Internet¹ ha analizzato la tendenza dei mercati di accesso ad Internet da rete fissa e da rete mobile, rilevando come la curva di crescita delle connessioni da rete mobile sia ben più ripida di quella delle connessioni da rete fissa, tanto da prevedere, nel 2013, il sorpasso del numero di accessi da rete mobile.

Un altro dei fattori che contribuirà alla crescita del comparto sarà l'evoluzione verso le reti di quarta generazione, che consentiranno maggiori velocità di trasmissione dei dati e una mobilità trasparente anche verso altre soluzioni tecnologiche, oltre ad offrire tecniche più puntuali per l'assicurazione della qualità del servizio.

La crescita vertiginosa degli utenti di servizi di connettività ad Internet da rete mobile, se da un lato costituisce

una opportunità di business per gli operatori di rete, dall'altro costituisce un elemento di criticità per le loro reti mobili, a causa delle limitate risorse dello spettro radio destinate al *mobile broadband* ed ad infrastrutture spesso insufficienti od obsolete nel *backhaul*².

In questo articolo si analizzano le dinamiche del mercato della connettività ad Internet da rete mobile e ci si sofferma sulle soluzioni tecnologiche sulle quali stanno investendo gli operatori e che costituiranno le future infrastrutture di rete mobile. Inoltre, si esaminano le criticità che si pongono per far fronte alla crescita incessante degli utenti e si illustrano gli impatti sulla neutralità della rete delle tecniche di gestione del traffico adottate da alcuni operatori di rete mobile.

2. Le dinamiche del mercato del Mobile Internet

Il mercato mondiale delle telecomunicazioni è andato, nel 2009, in leggera controtendenza rispetto ai restanti mercati, registrando una modesta crescita³ (+1,7% rispetto al 2008) su scala mondiale e una lieve flessione (-0,8%) su scala europea, resistendo decisamente meglio rispetto alla crisi rispetto ad altri settori, dove si sono registrati cali più marcati. La crisi ha in-

Sergio Palumbo

Ingegnere, funzionario presso
l'Autorità per le Garanzie
nelle Comunicazioni

“ Nel mondo di Internet sta progressivamente sfumando la filosofia del “tutto gratis” e l'asse si sta spostando dai servizi *free* ai servizi *freemium*: si offrono delle caratteristiche di base gratuite, ma si richiede un pagamento per fruirne completamente ”

¹ *The Mobile Internet Report*, Morgan Stanley, 2009.

² In una rete mobile, il *backhaul* è il tratto di rete che collega la stazione radio base alla dorsale.

³ *Mobile 2010*, Idate, 2010.

ciso principalmente sulla fonia fissa, ma anche la componente mobile ne ha risentito: rispetto agli scorsi anni, nei quali la crescita era, su scala mondiale, particolarmente elevata (oltre il 10% fino al 2007, 8% nel 2008), la stessa, nel 2009, è stata più che dimezzata, assestandosi al 3,9%. Su scala europea, la crescita del fatturato complessivo del settore mobile è stata solo dello 0,2%.

Il panorama nazionale è ancor meno roseo per la telefonia mobile: si registra una contrazione dei ricavi, in termini di spesa degli utenti, del 3,5%⁴. Tale contrazione risulta particolarmente marcata per la vendita ed il noleggio di terminali ed accessori (inclusi nel calo di 18,3% degli "Altri ricavi"), mentre i servizi voce scendono dell'1,1% ed i servizi dati (ivi inclusi SMS, MMS, servizi video e TV e connessioni ad Internet su rete mobile) sono gli unici a crescere di un punto percentuale.

È particolarmente interessante spaccettare il dato della crescita dei servizi dati: difatti, i ricavi per gli SMS, in realtà, scendono del 6,3%, mentre i ricavi per i restanti servizi dati crescono del 10,6%, trainati, principalmente, dalle connessioni ad Internet. Nello specifico, secondo i dati dell'Osservatorio Mobile Content & Internet della School of Management del Politecnico di Milano⁵, nel 2009 la crescita dei servizi di connettività mobile a banda larga è stata pari al 17% per le connessioni da cellulari e *smartphone* e pari a ben il 26% per le connessioni da personal computer, tipicamente mediante l'utilizzo di *Internet Key* o *Connetct Card*.

Pertanto, in un panorama in cui i ricavi per i servizi voce ed SMS sono in calo, gli operatori mobili sono riusciti a contenere le perdite puntando essenzialmente su due aspetti: la fidelizzazione del cliente, ed il Mobile Internet.

Se la contrazione dei ricavi nel comparto voce ed SMS può ascriversi, da un lato, alla crisi che ha investito la maggior parte dei mercati occidentali, dall'altro questa è da ricondurre ad

una fisiologica saturazione del mercato dopo l'incessante crescita degli scorsi anni, oltre ad una progressiva riduzione dei prezzi a causa della concorrenza sempre più agguerrita tra gli operatori mobili.

Proprio in virtù della saturazione del mercato, una delle politiche adottate dagli operatori mobili è stata quella di spingere molto sulla fidelizzazione del cliente, puntando ancor di più sugli abbonamenti che sulle ricaricabili e focalizzando maggiormente la propria attenzione sul *caring*. Ad incidere su questa tendenza è stata anche l'entrata in vigore della delibera n. 78/08/CIR⁶ dell'Agcom, la quale, oltre a velocizzare le tempistiche di portabilità del numero, ha definitivamente vietato la pratica della *retention*. L'abolizione della *retention*, inizialmente considerata da molti un'eventualità sfavorevole ai consumatori (i quali ottenevano spesso migliori tariffe e l'applicazione gratuita di promozioni ed opzioni a valle di una richiesta di MNP⁷), si è rivelata, nel medio periodo, uno stimolo per gli operatori mobili a migliorare, a monte, le politiche di fidelizzazione e di *caring*, al fine di ridurre quanto più possibile il tasso di *churn* in uscita⁸.

Fidelizzare il cliente significa anche diventare il suo unico punto di riferimento nella fornitura di servizi di comunicazione, nel contempo conquistando nuove fette di mercato in settori prima non esplorati. È il caso, ad esempio, di operatori mobili che hanno iniziato a fornire anche servizi di fonia fissa, oppure di operatori di fonia fissa che sono diventati operatori mobili virtuali (MVNO). Analogamente, fornendo servizi di connettività ad Internet su rete mobile, gli operatori mobili hanno conquistato fette di mercato prima appannaggio solo degli operatori di telefonia fissa e ADSL. La progressiva sostituzione del fisso con il mobile, iniziata con i servizi voce, è così proseguita investendo anche i servizi dati. Anche questo è stato uno dei fattori chiave di successo del Mobile Internet. In Italia, nel 2009, si sono registrati più dieci milioni di accessi unici al me-

⁴ Relazione annuale 2010 sull'attività svolta e sui programmi di lavoro, Agcom, 2010.

⁵ *Mobile Content & Internet: in gioco nuovi business model. Executive summary del Rapporto 2010 Osservatorio Mobile Content & Internet*, School of Management del Politecnico di Milano, 2010.

⁶ Recante: "Norme riguardanti la portabilità del numero mobile".

⁷ *Mobile Number Portability*.

⁸ Il tasso di *churn* in uscita è il tasso di abbandono del cliente.

se ad Internet da rete mobile e si prevede di arrivare, entro la fine del 2010, a dodici milioni⁹: se confrontato con il numero di utenti di servizi mobili di terza generazione (33,6 milioni a marzo 2010¹⁰), ci si rende facilmente conto del connubio sempre più forte tra comunicazioni mobili ed Internet, con prospettive di ulteriore crescita nei prossimi anni. Questo legame tenderà a diventare sempre più marcato nel prossimo futuro, nel quale l'evoluzione verso le reti di quarta generazione consentirà di raggiungere velocità di trasmissione dei dati su rete mobile ancor più elevate.

3. Verso la quarta generazione

Negli ultimi anni si è assistito ad una rapida evoluzione delle reti mobili, con particolare riferimento alla velocità di trasmissione dei dati. Se il sistema GSM, detto anche di seconda generazione o "2G"¹¹ consentiva la trasmissione di dati alla modesta velocità di 9,6 Kbps, gli attuali protocolli HSPA consentono di raggiungere velocità in *download* nell'ordine della decina di Mbps ed in un futuro non troppo remoto, con le reti di quarta generazione si arriverà ai 100 Mbps di LTE (acronimo di *Long Term Evolution*), fino ad 1 Gbps per la LTE *Advanced*.

Nel giro di pochi anni si è verificata una incessante evoluzione delle reti mobili, con tecnologie e protocolli che hanno consentito velocità di trasmissione dati sempre più elevate.

In sintesi, le tecnologie che si sono susseguite, in ordine di tempo, sono le seguenti:

- 2G: GSM;
- 2,5G: GPRS;
- 2,75G: EDGE;
- 3G: UMTS;
- 3,5G: HSDPA;
- 3,75G: HSUPA.

Il prossimo passo nella *roadmap* dell'evoluzione delle comunicazioni mobili prevede lo sviluppo delle reti di quarta generazione (4G). Per 4G si intendono, generalmente, i sistemi WiMAX ed LTE¹². La tecnologia WiMax è

frutto dell'evoluzione dei protocolli standardizzati dalla IEEE¹³, mentre LTE è stata standardizzata da 3GPP¹⁴.

La peculiarità di queste reti è di essere *all-IP*, pertanto completamente a commutazione di pacchetto, escludendo del tutto le tecniche a commutazione di circuito: una vera e propria rivoluzione.

I requisiti delle reti di quarta generazione, ed in particolare della LTE, sono riassumibili nei seguenti punti:

- Trasferimento dati più veloce, sia in *downlink* che in *uplink*;
- Ritardi ridotti, sia in fase di instaurazione della connessione, sia in termini di latenza di trasmissione;
- Costo per bit ridotto;
- Maggiore efficienza spettrale¹⁵ e maggiore flessibilità nell'occupazione dello spettro radio;
- Architettura di rete più semplice;
- Mobilità "trasparente" anche tra reti realizzate con diverse tecnologie (ad es. 2G, 3G e Wi-Fi).

I requisiti di velocità per la LTE sono di almeno 100 Mbps in *downlink* ed almeno 50 Mbps in *uplink*. La modulazione utilizzata per il *downlink* è la OFDM¹⁶, mentre per l'*uplink* è la Single-Carrier FDMA¹⁷, in discontinuità rispetto alle reti UMTS, per le quali si era scelta la tecnica W-CDMA¹⁸. Per ogni canale radio, la banda utilizzata spazia da un minimo di 1.25 MHz ad un massimo di 20 MHz, ottenendo quindi una maggiore flessibilità nell'utilizzo dello spettro radio rispetto alle reti 3G, per le quali l'allocazione era fissata a 5 MHz per canale.

Attraverso l'impiego di tecnologie basate su antenne multiple (MIMO¹⁹) è possibile migliorare la qualità del segnale, sia in termini di riduzione di fenomeni di *fading* da cammini multipli, sia in termini di potenza, ottenendo migliori valori per il rapporto segnale-rumore (SNR²⁰).

Secondo Idate²¹, nel 2015 un totale di 380 milioni di utenti tra Stati Uniti, Regno Unito, Francia, Germania, Spagna, Italia, Scandinavia, Cina, Giappone e Corea del Sud accederanno ai servizi di comunicazione mo-

⁹ *Mobile Content & Internet: in gioco nuovi business model. Executive summary del Rapporto 2010 Osservatorio Mobile Content & Internet*, School of Management del Politecnico di Milano, 2010.

¹⁰ *Relazione annuale 2010 sull'attività svolta e sui programmi di lavoro*, Agcom, 2010.

¹¹ Per prima generazione, o "1G", si intendono le tecnologie analogiche TACS ed ETACS.

¹² In realtà, la rete LTE viene definita "3,99G" o "Super 3G" ed è ritenuta l'ultima tappa prima delle reti di quarta generazione (4G), le quali hanno come obiettivo una velocità in *downlink* pari ad 1 Gbps (LTE *Advanced*).

¹³ *Institute of Electrical and Electronic Engineers*.

¹⁴ Il *Third Generation Partnership Project* (3GPP) è un accordo di collaborazione fra enti che si occupano di standardizzare sistemi di telecomunicazione in diverse parti del mondo.

¹⁵ Per *massima efficienza spettrale* si intende il rapporto tra la velocità di picco (*peak rate*) e l'ampiezza dello spettro utilizzato.

¹⁶ *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*.

¹⁷ *Frequency-Division Multiple Access*.

¹⁸ *Wideband Code Division Multiple Access*.

¹⁹ *Multiple Input Multiple Output*.

²⁰ *Signal-to-Noise Ratio*.

²¹ *World LTE Market*, Idate, 2010.

bile attraverso reti LTE. Le prime sperimentazioni sono già iniziate anche in Italia, con gli annunci di Vodafone e Telecom Italia. Per consentire, però, la commercializzazione su larga scala dei servizi di quarta generazione, si rende fondamentale l'assegnazione di nuove frequenze dello spettro radio al *mobile broadband*.

4. Una crescita vertiginosa: la criticità delle risorse radio insufficienti

Mentre è sempre in crescita il numero di utenti che fruiscono dei servizi di connettività ad Internet su rete mobile, le risorse dello spettro radio a disposizione per questi servizi sono costanti. La scarsità di risorse nello strato d'accesso è uno dei maggiori fattori di criticità per la crescita di questo tipo di tecnologie.

Per far fronte a questo problema, la strada maestra indicata da analisti ed esperti è l'utilizzo, per il *mobile broadband*, delle frequenze televisive liberate nel passaggio al digitale terrestre. Dal dividendo digitale potrebbero essere destinati circa 300 MHz a favore degli operatori mobili. L'asta delle frequenze, secondo la *roadmap* europea, dovrebbe avvenire entro il 2015, con l'auspicio che ciò avvenga anche prima, in virtù dell'inizio delle sperimentazioni della tecnologia LTE già annunciate da alcuni operatori mobili.

La necessità di destinare nuove risorse radio al *mobile broadband* è stata rimarcata dal presidente dell'Agcom, Corrado Calabrò, il quale, nell'illustrare la relazione annuale sull'attività svolta e sui programmi di lavoro del 2010 dell'Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni, illustrando il piano delle frequenze appena approvato ha annunciato che tale piano "consente di liberare 9 canali TV da destinare alla larga banda wireless, come chiede la Commissione europea"; ha aggiunto, inoltre: "L'Italia è il secondo Paese europeo per diffusione della banda larga mobile. Ma se non interveniamo rapidamente, con il tasso attuale di diffusione degli smartphones, la nostra rete mobile rischia il collasso".

L'Agcom, con vivo apprezzamento della commissaria Kroes, sta portando avanti, in Europa e in Italia, una politica finalizzata alla liberazione in tempi brevi delle frequenze radio. Contiamo di rendere disponibili circa 300 Mhz da mettere all'asta per la larga banda".

Prima che tali frequenze siano assegnate, si rende necessario razionalizzare l'utilizzo dello spettro radio. Gli operatori hanno affrontato questo problema attraverso l'utilizzo di tecniche di *traffic management* e con la predisposizione di tipologie di tariffe volte a rendere più consapevoli gli utenti dei propri consumi.

Il problema che si trovano ad affrontare gli operatori mobili risiede nelle cosiddette applicazioni "bandivore", ossia quelle che fanno un ingente uso di banda, come ad esempio quelle adibite al *file sharing* (generalmente indicate come "peer-to-peer"). Per far fronte a questa criticità, diversi operatori mobili hanno incluso nelle proprie condizioni generali di contratto clausole per le quali alcune tipologie di traffico (come il P2P, appunto) possono subire, soprattutto con riferimento ai periodi di maggior congestione della rete, rallentamenti appositamente introdotti attraverso tecniche di gestione del traffico. In alternativa, alcuni operatori hanno introdotto un limite settimanale o mensile di volumi di traffico generabili, oltre i quali il servizio viene offerto con una netta limitazione della banda disponibile, indiscriminatamente per tutte le tipologie di dati scambiati, rimuovibile acquistando altre quote di traffico.

L'obiettivo dell'adozione di tecniche di gestione del traffico, da parte degli operatori, è principalmente quello di garantire una adeguata qualità del servizio per tutti gli utenti, salvaguardando la rete dalle applicazioni che ne fanno uso troppo intensivi. L'evoluzione verso LTE porterà anche ad un nuovo modello di politiche di *quality of service*, che consentirà un'applicazione più puntuale di tecniche di gestione del traffico secondo classi di priorità.

QCI	Tipo di risorsa	Livello di priorità	Packet Delay Budget	Packet Error Loss Rate	Esempi di servizi
1	GBR	2	100 ms	10 ⁻²	Voce
2	GBR	4	150 ms	10 ⁻³	Videochiamata e videoconferenza (Live Streaming)
3	GBR	3	50 ms	10 ⁻³	Real Time Gaming
4	GBR	5	300 ms	10 ⁻⁶	Altre applicazioni video (Buffered Streaming)
5	Non-GBR	1	100 ms	10 ⁻⁶	IMS Signalling
6	Non-GBR	6	300 ms	10 ⁻⁶	Video (Buffered Streaming) TCP-based (ad esempio: navigazione web, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, etc.)
7	Non-GBR	7	100 ms	10 ⁻³	Voce, Video (Live Streaming) Interactive Gaming
8	Non-GBR	8	300 ms	10 ⁻⁶	Video (Buffered Streaming)
9	Non-GBR	9	300 ms	10 ⁻⁶	TCP-based (ad esempio: navigazione web, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, etc.)

Tabella 1.

5. Una nuova generazione di qualità del servizio

Tra le migliori apportate dalla LTE, è da rimarcare il forte sviluppo delle tecniche di assicurazione della qualità del servizio (QoS) per le diverse classi di applicazione. Nello specifico, la flessibilità di allocazione spettrale nell'interfaccia radio consente di poter instaurare connessioni associate a livelli di QoS differenti, a seconda delle specifiche applicazioni che occuperanno quel canale radio. Per ogni utente possono essere allocati uno o più *bearers* (flussi di pacchetti IP dal terminale utente al *gateway* della *Packet Data Network*), ciascuno con una specifica qualità del servizio, definita a monte. I *bearer* sono ascrivibili a due macrocategorie: quelli che garantiscono un *bitrate* minimo (GBR²²) e quelli che non lo garantiscono (non-GBR). Dato che sullo stesso terminale un utente potrebbe utilizzare contemporaneamente applicazioni con diversi requisiti di QoS (ad es. una sessione FTP ed una conversazione VoIP), per uno stesso utente è possibile stabilire più *bearer* con differenti livelli di qualità. Per ogni *bearer* è associato un identificatore di classe di QoS (QCI²³), caratterizzato da un livello di priorità, un ritardo massimo che possono subire i pacchetti nell'attraversare il collegamento tra il nodo di accesso e il terminale utente (*packet delay budget*) ed un massimo tasso di

perdita di pacchetti accettabile (*packet error loss rate*). Sono stati standardizzati nove QCI, per i quali è possibile identificare delle applicazioni per le quali i rispettivi *bearer* risulterebbero adeguati. In Tabella 1 si riportano i requisiti dei nove QCI standardizzati e, a titolo esemplificativo, i servizi più indicati per ciascuna classe.

La definizione di un sistema di associazione della qualità del servizio alle diverse applicazioni già a livello di *bearer* è un gran passo avanti rispetto alle reti mobili pre-LTE. Difatti, nelle reti di terza generazione, gli operatori, per offrire servizi con un certo livello di QoS, devono fare intenso uso di tecniche di *traffic management* che si traducono nella prioritizzazione del traffico sulla base dei singoli pacchetti, rendendo necessarie tecniche di *Deep Packet Inspection*. Inoltre, per evitare che pochi utenti (cosiddetti *heavy users*) ingolfino la rete d'accesso (radio) con applicazioni particolarmente intensive, così pregiudicando i livelli di qualità dei restanti servizi, spesso gli operatori hanno optato per l'adozione di tecniche di *traffic shaping*, limitando la banda utilizzata da certi tipi di applicazioni (ad esempio il P2P). L'utilizzo di questo tipo di tecniche, che tendono a trattare in modo differente le diverse tipologie di traffico, è oggetto di grande attenzione (e talvolta preoccupazione) nell'ambito del dibattito sulla *network neutrality*.

²² *Guaranteed Bit Rate.*

²³ *Quality of Service Class Identifier.*



DISTRETTO AEROSPAZIALE: INDAGINE SUL FABBISOGNO FORMATIVO

Renato Aurigemma

Coordinatore Commissione Aerospaziale
dell'Ordine degli Ingegneri di Napoli

“ Gli incentivi sulla formazione possono costituire anche una valvola di sfogo per le aziende, consentendo contemporaneamente di investire proficuamente sulle risorse umane ”

La formazione professionale delle risorse umane aziendali può essere considerato un importante tassello verso il rafforzamento del nascente “Distretto Aerospaziale Campano”, proprio in questi giorni oggetto di ferventi attività legate all’opportunità offerta dal bando PON del MIUR sui distretti tecnologici.

In vista della prossima definizione di interventi pubblici per le imprese, la Commissione Aerospazio dell’Ordine degli Ingegneri di Napoli ha avviato una indagine sui fabbisogni formativi delle imprese campane operanti nel settore Aerospazio.

Considerato il momento di crisi che attraversa anche il settore in questione, gli incentivi sulla formazione possono costituire anche una valvola di sfogo per le aziende, consentendo contemporaneamente di investire proficuamente sulle risorse umane che sono il principale patrimonio delle PMI Campane dei settori Hi-Tech.

L’indagine sul campo è partita nello scorso mese di dicembre, ed ha l’ambizione di raccogliere le indicazioni di un campione molto vasto di aziende del settore attraverso una scheda di rilevazione semplificata. Scopo della ricerca è infatti quello di identificare in modo libero le esigenze delle aziende, in particolare delle PMI, senza imporre vincoli o suggerimenti di sorta.

Grande scetticismo, infatti, si è riscontrato tra le PMI in riferimento alle pregresse misure di incentivazione in ambito formativo, soprattutto in relazione ai vincoli imposti in termini organizzativi, di numero di risorse da formare, di scarsa flessibilità delle azioni e, soprattutto, legati alla scelta di particolari categorie di soggetti erogatori, spesso non compatibili con le specifiche esigenze di un settore altamente tecnologico come quello aerospaziale.

Alle aziende viene chiesto di indicare gli argomenti e le durate delle attività formative, il numero di risorse da formare, le caratteristiche ed i vincoli legati ai soggetti eroganti (eventuali certificazioni, qualifiche, ecc.) e le eventuali esigenze in merito alla gestione dei corsi (luoghi, attrezzature, viaggi, orari ecc).

Tali informazioni verranno elaborate dalla Commissione Aerospazio dell’Ordine degli Ingegneri di Napoli e presentate durante un evento pubblico da tenersi nei prossimi mesi.

L’auspicio è che ciò possa servire ad orientare la scelta di iniziative innovative nel campo della formazione professionale, con particolare riferimento alla prossima programmazione dei fondi europei (POR), che si spera possano essere utilizzati in modo efficiente ed efficace per lo sviluppo del comparto aerospaziale.

AFFIDABILITÀ E SICUREZZA DEI SISTEMI INNOVATIVI DI COMANDO/CONTROLLO. APPROCCI BASATI SU MODELLI E LORO APPLICAZIONI INDUSTRIALI

Il presente articolo dei colleghi dell'Ansaldo STS Spa di Napoli sulla sicurezza dei sistemi di trasporto ferroviario, già pubblicato sulla rivista Ingegneria Ferroviaria n.6 Giu/2010, tratta un tema di grande rilevanza che interessa molti altri complessi e vitali sistemi che quotidianamente utilizziamo. La gestione degli aspetti di affidabilità e sicurezza dei nuovi sistemi computer-based per applicazioni critiche è ormai fondamentale per la diffusione degli stessi e rappresenta una reale sfida per il mondo della ricerca, dell'industria e delle professioni del settore ICT. È per queste ragioni che la 30ma Conferenza Internazionale SAFECOMP che si terrà a Napoli dal 19 al 21 settembre 2011 (www.safecomp2011.unina.it), ha scelto come tema centrale quello della Safety dei sistemi computer-based per applicazioni critiche.

Giovanni Manco
Consigliere Ordine Ingegneri Napoli

Sommario

È un dato di fatto che i moderni sistemi di trasporto su rotaia sono caratterizzati da livelli di complessità molto elevati e continuamente crescenti. Una delle ragioni principali di tale crescita risiede nella tendenza ad automatizzare sempre più delicate funzionalità di comando e supervisione attraverso sistemi di elaborazione distribuiti ed eterogenei. In questo articolo si affronta il tema delle modellistica formale attraverso paradigmi avanzati e tecniche innovative come supporto alla valutazione olistica di sicurezza ed affidabilità dei sistemi ferroviari in diverse fasi del loro ciclo di vita, presentando alcune recenti esperienze e interessanti prospettive di ricerca in tale ambito.

1. Introduzione

Dai primi anni '90 è in corso una transizione dei sistemi di controllo fer-

roviari dalle tradizionali logiche elettromeccaniche realizzate a relè verso i più moderni sistemi di elaborazione dedicati per: la gestione degli itinerari, il distanziamento treni, il controllo della marcia e la supervisione del traffico. Per tutte le funzionalità la cui disponibilità e correttezza ha notevole impatto sui costi di manutenzione con possibili ripercussioni anche sulla sicurezza, è indispensabile adottare strumenti di progetto e collaudo che seguano le direttive degli standard internazionali [1]. In tale contesto, l'impiego di modelli può avere molteplici vantaggi, in termini di supporto alle scelte progettuali fin dalle prime fasi del ciclo di sviluppo, della valutazione e dimostrazione degli indici di affidabilità e sicurezza in fase di certificazione, e finanche delle capacità diagnostica e prognostica in fase operativa. Al fine di adeguare la scelta

Francesco Flammini
Leonardo Impagliazzo
Pietro Marmo
Concetta Pragliola

Ansaldo STS Napoli

“Approcci basati su modelli sono impiegabili in molteplici applicazioni e consentano un elevato livello di rigore nella rappresentazione e precisione nella valutazione dei risultati”

dei formalismi all'obiettivo dell'analisi, al livello di astrazione, alla natura e alle dimensioni dei sistemi, è opportuno adottare adeguati metodi e strumenti modellistici che supportino, tra le altre cose, paradigmi di tipo modulare. In particolare, alcuni formalismi si prestano a diverse tipologie di analisi, supportando la valutazione analitica sia di attributi RAMSS¹ che di proprietà che devono essere soddisfatte dal sistema [2]. Un approccio olistico (ovvero integrato e coeso) basato su diversi formalismi consente di evitare ipotesi eccessivamente conservative che tendono inoltre a trascurare determinate dinamiche di interazione tra sottosistemi. In fase di progettazione, ciò potrebbe avere l'effetto di ottenere risultati poco attendibili o troppo conservativi, con una non ottimale allocazione degli sforzi di sviluppo tra i diversi componenti. La calibrazione fine nella scelta dei formalismi e del livello di astrazione dei modelli consente, in definitiva, di bilanciare potenza espressiva, facilità d'uso ed efficienza risolutiva.

Nel corso di questo articolo, i concetti generali precedentemente esposti verranno applicati a casi industriali nel settore del trasporto ferroviario e metropolitano. A tal scopo, ognuno dei paragrafi che seguono presenterà un'esperienza di risoluzione di una o più problematiche relative alla sicurezza o all'affidabilità dei sistemi basata su tecniche di modellazione avanzate. Tali esperienze evidenziano un efficace trasferimento in ambito industriale di metodi e strumenti sviluppati in ambito accademico. Verranno infine tratte delle conclusioni generali, discutendo i risultati ottenuti e fornendo alcune linee guida sui futuri sviluppi della ricerca accademica ed industriale.

Più in dettaglio, l'articolo è strutturato come segue:

- La seconda sezione descrive un metodo per la valutazione della disponibilità di un sistema ferroviario considerando tutte le modalità e le cause di guasto e sfruttando

una tecnica di modellazione detta multi-formalismo.

- Nella terza sezione viene illustrata una tecnica di valutazione della safety di sistemi di votazione a maggioranza in presenza di manutenzione imperfetta, sfruttando ancora una volta tecniche di astrazione e modellazione basata su diversi linguaggi.
- Nella quarta sezione si introduce il concetto di *model-based testing* ovvero di verifiche (statiche o dinamiche) basate sul supporto di modelli, allo scopo di migliorare l'efficacia e l'efficienza del processo di certificazione.
- Nella quinta sezione si presenta un possibile approccio per la valutazione del rischio *security* attraverso modelli eterogenei, trasferendo a tale ambito - ed in alcuni casi estendendo - tecniche sviluppate e tradizionalmente impiegate per le valutazioni di affidabilità e *safety*.
- Infine, nella sesta sezione si mostra come modelli formali possano essere impiegati per rilevare in tempo reale minacce di diversa natura, allo scopo di realizzare un sistema di allerta precoce e supporto alle decisioni in fase operativa.

Per una trattazione teorica della modellistica dei sistemi critici, in cui vengono introdotti sia i formalismi di base che le tecniche avanzate, il lettore può far riferimento a [3]. Per alcuni elementi introduttivi sui formalismi di base si veda la Tabella 1.

2. Valutazioni olistiche di disponibilità

Supponiamo di avere la necessità di valutare la disponibilità di un complesso sistema di controllo ferroviario. Innanzitutto, tale valutazione richiede in via preliminare di definire con precisione qual è la modalità di fallimento a cui ci si riferisce. Nel caso dello standard ERTMS/ETCS (*European Railway Traffic Management System / European Train Control System* [4]), im-

¹ *Reliability Availability Maintainability Safety Security* (Affidabilità, Disponibilità, Manutenibilità, Innocuità, Protezione; questi ultimi due attributi il più delle volte tradotti nella nostra lingua con il termine "Sicurezza").

Alberi dei Guasti

Gli alberi dei guasti sono un formalismo tradizionalmente impiegato in analisi probabilistiche del rischio. Essi mettono in relazione un evento indesiderato (detto *Top Event*), tipicamente un malfunzionamento, con una serie di eventi base (detti *Basic Event*) secondo una struttura grafica ad albero binario, in cui il *Top Event* rappresenta la radice ed i *Basic Event* le foglie. Tutti gli eventi sono connessi tra loro secondo gli operatori classici della logica booleana (*AND*, *OR*) ed eventuali altri connettori ad hoc introdotti nelle varie estensioni del formalismo proposte in letteratura (alberi dei guasti dinamici, parametrici, riparabili, ecc.). Efficienti da risolvere attraverso approcci combinatori basati sui cosiddetti "insiemi di taglio minimi", sono caratterizzati da una potenza espressiva ridotta (ad es. non possono modellare politiche di manutenzione diverse dalla "riparazione perfetta").

Automati a stati finiti

Gli automi o macchine a stati finiti sono un formalismo basato sui concetti di stato e transizione tra stati. Il sistema modellato evolve nel tempo in funzione dello stato attuale e dell'input ricevuto. Gli automi possono modellare in modo più o meno astratto un gran numero di sistemi dinamici. Ne esistono numerose estensioni (tra cui automi non deterministici, ibridi, temporizzati, ecc.), che si prestano in particolare alla verifica di proprietà attraverso tecniche di *model checking*.

Catene di Markov

Una catena di Markov a tempo continuo rappresenta graficamente un processo stocastico discreto in cui i nodi individuano stati e gli archi transizioni tra stati, a cui sono associate distribuzioni di probabilità di tipo esponenziale (che soddisfano la proprietà di "assenza di memoria"). Date le proprietà del processo, il comportamento del sistema modellato al tempo t dipende solo dallo stato in cui il sistema si trova e non da quelli precedentemente attraversati. L'utilizzo di tale formalismo è molto diffuso nelle analisi di manutenibilità.

Reti di Bayes

Una rete bayesiana è un grafo aciclico orientato in cui i nodi rappresentano variabili aleatorie e gli archi rappresentano le relazioni di dipendenza statistica tra le variabili, quantificate da probabilità condizionali. È possibile dimostrare che una rete bayesiana rappresenta la distribuzione della probabilità congiunta dell'insieme di variabili rappresentate dai nodi. Tradizionalmente impiegate in applicazioni di intelligenza artificiale, negli ultimi anni le reti bayesiane hanno trovato spazio nella valutazione di affidabilità, in particolare potendo esprimere ed estendere tutto ciò che può essere rappresentato attraverso un albero dei guasti, senza ricorrere ad approcci basati sull'analisi dello spazio di stato. Le estensioni decisionali possono modellare problemi di analisi costi/benefici, mentre quelle dinamiche introducono il concetto di "tempo".

Reti Neurali

Le reti neurali artificiali sono modelli matematici che rappresentano l'interconnessione tra elementi definiti "neuroni artificiali", ossia costrutti matematici che in qualche misura imitano le proprietà dei neuroni viventi. Possono essere utilizzate per risolvere problemi ingegneristici di intelligenza artificiale in diversi ambiti tecnologici. In particolare, nell'ambito dell'ingegneria dell'affidabilità, esse possono essere impiegate per realizzare sistemi di diagnostica, prognostica, allerta precoce e supporto alle decisioni.

Reti di Petri

Una rete di Petri è una rappresentazione matematica di un sistema distribuito discreto. Essa è caratterizzata da nodi *posti*, nodi transizioni e archi orientati che connettono posti e *transizioni*. Nei posti possono essere contenuti dei *token* (letteralmente "gettoni"), che possono abilitare lo scatto delle transizioni secondo opportune regole. A seguito dello scatto delle transizioni, uno o più gettoni vengono consumati dai posti di *input* ed eventuali altri vengono generati in quelli di *output*. Estese con priorità, archi multipli ed archi inibitori, le reti di Petri hanno la stessa potenza espressiva della macchina di Turing, ovvero virtualmente illimitata. Di uso non immediato, le reti di Petri "base" si prestano ad analisi di proprietà strutturali (es. assenza di *deadlock*, ovvero "stall"), mentre le estensioni cosiddette temporizzate e/o stocastiche consentono analisi anche di tipo quantitativo (es. indici di prestazioni e/o affidabilità).

piegato su tutte le nuove linee ad Alta Velocità / Alta Capacità (AV / AC), vengono definiti i seguenti tre modi di fallimento:

– Guasto Immobilizzante (almeno due treni sono costretti a muoversi in modalità degradata "a vista");

- Guasto di Servizio (al più un treno è costretto a muoversi in modalità degradata "a vista");
- Guasto Minore (ovvero che richiede un intervento di manutenzione non programmato ma non rientra nelle precedenti categorie).

Tabella 1. Alcuni formalismi adatti ad analisi di affidabilità e sicurezza.

A partire da ciascun modo di fallimento, l'approccio all'analisi di affidabilità tradizionale attraverso il semplice formalismo degli alberi dei guasti (*Fault Tree*, FT) ha l'obiettivo di definire la combinazione di eventi che possono portare al fallimento. L'analisi arriva a considerare eventi base non ulteriormente scomponibili in eventi più semplici (le cosiddette "foglie") e la relativa distribuzione di probabilità. La valutazione del modello attraverso algoritmi di tipo combinatoriale consente di valutare il tasso di occorrenza del fallimento in funzione di quello degli eventi base. Gli alberi dei guasti possono parimenti modellare aspetti di disponibilità in ipotesi molto semplificate ed il più delle volte poco realistiche (tra cui risorse di riparazione infinite). Data la ridotta potenza espressiva, tramite gli alberi dei guasti non risulta possibile modellare aspetti più avanzati, quali modi di guasto comune, politiche di manutenzione articolate che prevedono manutenzione preventiva, e fallimenti dovuti a cali di prestazioni dovuti alla qualità del segnale o alla congestione nei canali di comunicazione (aspetti cosiddetti di *performability*). D'altra parte, il formalismo delle catene di Markov, anch'esso diffuso per la modellazione dei sistemi riparabili, risulta poco adatto a modellare sistemi complessi con un elevato numero di stati.

Una possibile soluzione al problema consiste nel combinare più formalismi di modellazione in dipendenza degli aspetti da modellare, secondo un approccio cosiddetto "multi-formalismo" [5]. Secondo tale approccio, gli alberi dei guasti possono continuare ad essere utilizzati per modellare sotto-sistemi non riparabili on-line (ad esempio quelli di bordo treno, *on-board*), che non presentano guasti di modo comune significativi e sono caratterizzati da un unico modo di fallimento di interesse per l'analisi. Viceversa, sistemi che non presentano tali caratteristiche possono essere modellati utilizzando:

- reti di Bayes (*Bayesian Networks*, BN), che consentono di rappresentare in un unico nodo più modi di guasto e di esplicitare interdipendenze tra gli eventi. In [6] tale formalismo viene utilizzato per modellare il modello globale, rappresentando in un unico modello tutte e tre le modalità di guasto di sistema sopra elencate;
- alberi dei guasti riparabili² (*Repairable Fault Trees*, RFT), che consentono di modellare politiche di manutenzione articolate in qualsivoglia modo, quali manutenzione preventiva, priorità di intervento, risorse di riparazione non infinite, ecc. In [7] tale formalismo viene applicato al *Radio Block Center* (RBC), che è un sottosistema di terra (*trackside*) di ERMS/ETCS responsabile del distanziamento treni.
- reti di Petri stocastiche generalizzate (*Generalized Stochastic Petri Nets*, GSPN), adatte a modellare sia prestazioni che errori sui canali di comunicazione (e quindi l'impatto di questi ultimi sulle prestazioni) [8].

La formulazione di un modello olistico dell'intero sistema richiede la combinazione dei sottomodelli eterogenei tramite opportuni operatori di composizione. In [6], i modelli interagiscono tra loro scambiandosi dei risultati (ad es. il risultato della valutazione di un modello viene utilizzato come parametro per popolare un altro), per cui la composizione può essere realizzata semplicemente attraverso dei cosiddetti "connettori"; in altri casi, la composizione può riguardare la condivisione di stati, eventi o azioni.

In Figura 1 è riportata una vista di esempio relativa ad un modello multi-formalismo di disponibilità (in cui è omessa l'esplicitazione dei connettori) per il sistema ERTMS/ETCS. Nel caso di studio, sono stati impiegati quattro diversi formalismi (BN, FT, RFT, GSPN), secondo i criteri precedentemente esposti. Il modello è stato

² Dal punto di vista grafico, i RFT sono delle estensioni degli alberi dei guasti tradizionali con blocchi di riparazione. Vengono risolti trasformando il modello in una corrispondente GSPN utilizzando diverse tecniche di risoluzione.

utilizzato per valutare le prestazioni delle linee ERTMS-AV Italia di fornitura ASTS.

In sintesi, l'approccio multi-formalismo rende possibile una rappresentazione più dettagliata del sistema senza rendere ingestibile il modello globale, con il vantaggio di poter stimare in modo fine (tramite opportune analisi di sensitività parametrica) l'impatto a livello di sistema di parametri di affidabilità e tolleranza ai guasti, e di calibrare di conseguenza le scelte progettuali in un'ottica di ottimizzazione costi/benefici.

3. Valutazioni di safety in presenza di manutenzione imperfetta

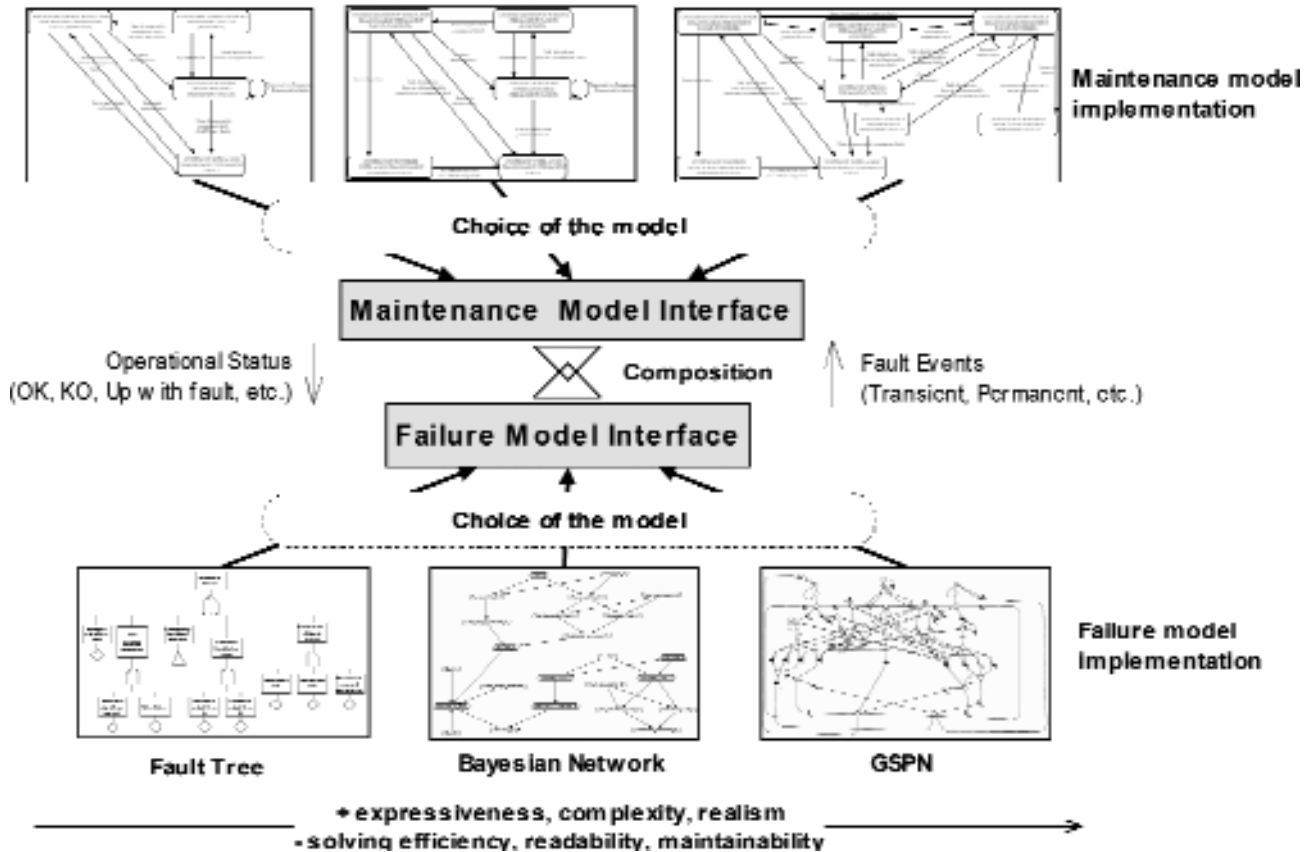
Molti sistemi di controllo impiegati in ambiti *safety-critical* sono basati su elaboratori *fault-tolerant* a ridondanza tripla modulare (*Triple Modular Redundancy*, TMR). L'architettura TMR consente una votazione a maggioranza "2 out of 3" (concordanza su almeno due sezioni) sulle uscite di tre sezioni indipendenti, isolate galvanicamente e diversamente sviluppate. In caso di malfunzionamento di una sezione, questa viene esclusa ed il sistema continua a funzionare in modalità "2 out of 2" (concordanza su entrambe le sezioni).

Per valutare la sicurezza (*safety*) di tale sistemi, è possibile impiegare modelli GSPN, che tengano conto, tra le altre cose, della natura dei guasti (transitori o permanenti) e dell'efficacia dei meccanismi di auto-diagnostica [9]. A fronte di una potenza espressiva molto elevata, però, i modelli GSPN risultano poco manutenibili. Tra i loro difetti rientrano la non facile leggibilità, la limitata efficienza di risoluzione, gli strumenti di supporto che sono pochi e di uso non semplice. Di conseguenza, l'estensione dei modelli per considerare ulteriori aspetti, quale ad esempio quello della manutenzione imperfetta, risulta molto difficile.

Per ovviare a tali limitazioni, può essere accettabile il compromesso di adottare formalismi di potenza espressiva anche più ridotta. Uno dei

formalismi impiegabili a tal scopo è quello delle reti di Bayes [6]. L'impiego di formalismi non basati sull'analisi dello spazio di stato obbliga ad effettuare ipotesi conservative sulla latenza dei guasti, ma ciò non crea problemi fintanto che si riesce a dimostrare che il sistema soddisfa il valore obiettivo imposto dalla specifica. Quando la modellazione a stati risulta preferibile o irrinunciabile, è possibile combinare modelli espressi in diversi formalismi. Ad esempio, nel caso si abbia la necessità di modellare problematiche di manutenzione imperfetta, è opportuno tenere traccia dello stato del sistema per la possibilità di avere errori latenti dovuti a guasti permanenti non diagnosticabili. In tal caso, è possibile separare il modello di guasto (espresso nel formalismo più conveniente allo scopo) da quello di manutenibilità, che può essere espresso tramite macchine a stati a diversi livelli di astrazione, a seconda del dettaglio richiesto all'analisi, come rappresentato schematicamente in Figura 2 (in cui le "miniature" dei modelli nei riquadri hanno il solo scopo di dare un'idea della diversa complessità). Quest'ultimo aspetto è ancora una volta legato al risultato della valutazione nel caso di modelli di *safety*, giacché modelli più astratti hanno un numero di stati più ridotto e sono tipicamente più leggibili e quindi manutenibili, ma d'altra parte costringono il modellista ad ulteriori approssimazioni per garantire che il risultato ottenuto sia più conservativo di quello esatto. Un'esperienza di applicazione di approcci multi-formalismo alle valutazioni di *safety* è documentata in [10]. L'applicazione è quella dei sistemi a votazione "2 out of 2" e "2 out of 3" utilizzati da Ansaldo STS per i nuclei vitali dei sistemi di controllo e segnalamento, tra cui quelli di gestione della via o *interlocking* (ACS e NVP, encoder, ecc.), attualmente operativi in numerose installazioni sia in Italia che all'estero. In particolare, tale lavoro dimostra la realizzabilità pratica di tali approcci in contesti indu-

Finite State Machine OR Continuous Time Markov Chain OR Timed Automata
at different levels of detail



striali, descrivendo la soluzione di un problema reale, quello della valutazione dell'impatto della manutenzione imperfetta sul tempo medio tra i guasti pericolosi, difficilmente risolvibile attraverso tecniche tradizionali.

4. Supporto alle verifiche funzionali di sistema

In un sistema complesso composto da diversi sottosistemi interagenti in vario modo tra loro, la verifica funzionale *black-box* del sistema è un'attività delicata e di fondamentale importanza per la sicurezza ma molto difficile da gestire con le tecniche tradizionali per l'elevato numero di test che sarebbe necessario effettuare. Pertanto sono necessarie tecniche che consentano di calibrare l'efficacia e l'efficienza dei casi di test al fine di raggiungere un compromesso ottimale. Il concetto di efficacia è re-

lativo alla copertura di tutte le condizioni significative, sia nel funzionamento nominale che in quello degradato; l'efficienza assicura la fattibilità delle verifiche in tempi ragionevoli. A tal scopo, a supporto delle attività di verifica, sono state proposte in letteratura tecniche (eventualmente automatiche) statiche o dinamiche, basate su modelli di riferimento. A livello di verifiche statiche, viste derivate dallo *Unified Modeling Language (UML)*, come ad es. diagrammi delle classi e di sequenza, prodotte dall'analisi del codice, consentono di effettuare dei controlli nei confronti delle specifiche di più alto livello secondo un approccio *bottom-up* mutuato dal *reverse engineering* [11]. Il processo è schematizzato in Figura 3a. Come effetto collaterale, un'analisi di questo tipo consente di apportare delle modifiche per mi-

Figura 2. Scelta e composizione di modelli di guasto e modelli di riparazione.

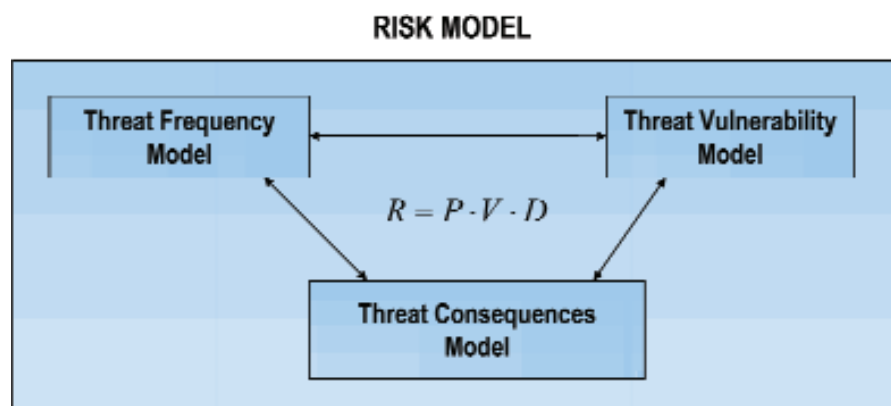
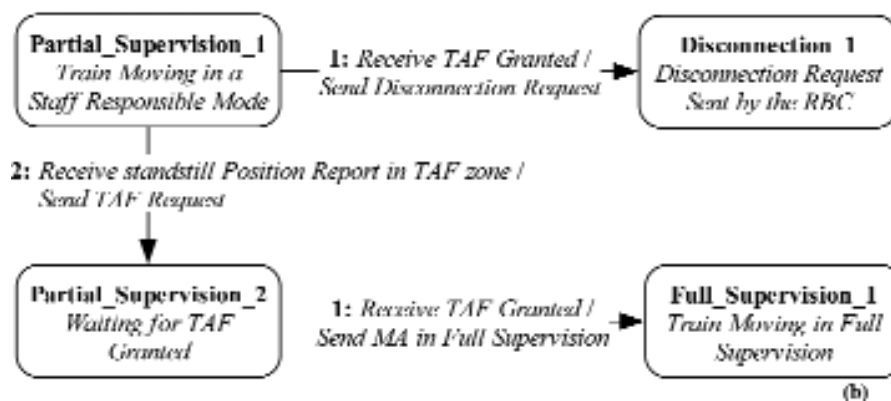
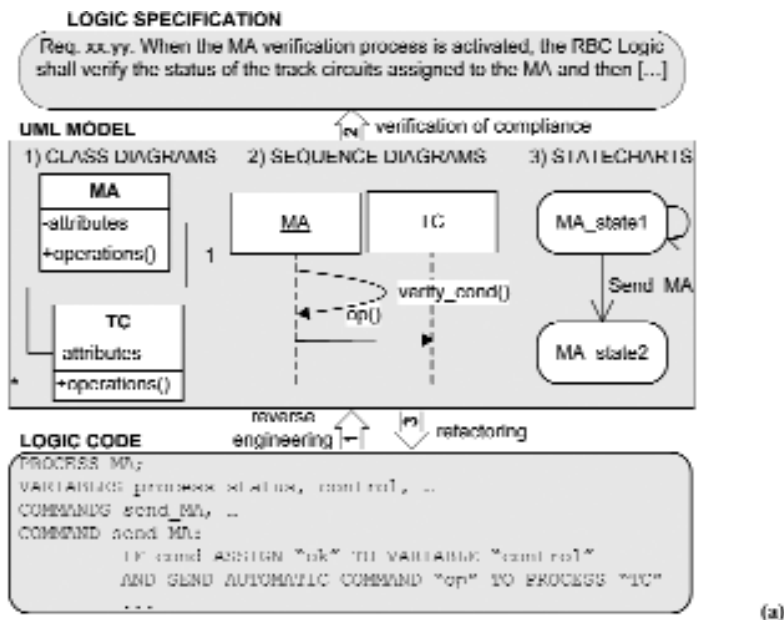
gliorare affidabilità e prestazioni del codice senza alterarne le funzionalità (approccio noto come *refactoring*), nel rispetto dell'indipendenza tra chi sviluppa e chi verifica come richiesto dagli standard di riferimento. Tale approccio è stato impiegato da Ansaldo STS nella fase di certificazione del sottosistema RBC di ERTMS/ETCS, a partire dall'impianto AV Torino-Novara.

A livello di verifiche dinamiche, modelli strutturali possono aiutare nel comprendere l'architettura interna del sistema, in modo da evitare di produrre tutte le combinazioni possibili delle variabili in gioco. Ciò richiede di monitorare variabili interne al sistema, fatto che, unito alle verifiche di copertura del codice, fa sì che gli approcci di questo tipo non siano completamente "a scatola nera", ma piuttosto "a scatola grigia". La prima applicazione a SCMT (Sistema Controllo Marcia Treni) è descritta in [12], mentre una successiva estensione con lo scopo di istanziare automaticamente prove astratte su impianti reali per i sistemi ACS (Apparato Centrale Statico) è descritta in [13]. Modelli comportamentali basati su macchine a stati finiti astratte, inoltre, assistono gli ingegneri nella determinazione dei percorsi minimi che coprono tutte le combinazioni significative di variabili di stato e di ingresso (si veda la Figura 3b) [13]. Tale approccio è stato impiegato nelle verifiche funzionali di sistema per tutti i nuovi impianti ERTMS/ETCS, a partire dalla linea AV Roma-Napoli.

Quello che si ottiene è una procedura di *testing* ibrida, che abilita diversi automatismi e consente di verificare anche la coerenza dei requisiti, in cui i modelli (in tal caso prevalentemente semi-formali) giocano un ruolo di fondamentale importanza. In definitiva, la verifica basata su modelli consente di incrementare il numero di difetti rilevati a parità di tempo e risorse impiegate, renderne più veloce la correzione ed automatizzare la generazione dei casi di test.

5. Analisi del rischio security

Gli attentati terroristici avvenuti negli ultimi anni, che hanno avuto in diversi casi come obiettivo infrastrutture ferroviarie o metropolitane, hanno portato alla ribalta le problematiche di protezione di tali sistemi nei confronti di minacce esterne di origine prevalentemente dolosa. Oltre al terrorismo, la categoria comprende eventi naturali e atti vandalici; questi ultimi, anche se generalmente non mietono vittime, comportano danni notevoli ai gestori delle infrastrutture. È fondamentale far precedere al progetto di sistemi di protezione un'attività di analisi che consenta di valutare in modo il più possibile preciso il rischio a cui il sistema è soggetto, in modo da predisporre gli interventi di mitigazione in funzione del bilancio costi/benefici. Il rischio è una combinazione di tre fattori legati a ciascuna minaccia: frequenza di accadimento, vulnerabilità (del sistema nei confronti della minaccia), danno (ovvero stima delle conseguenze). Ognuno di questi fattori, per altro interdipendenti, richiede opportuni modelli di valutazione affinché sia stimato in modo quantitativo. La stima analitica, d'altra parte, è indispensabile per affinare la precisione dei risultati ed effettuare eventuali ottimizzazioni automatiche sul dimensionamento dei meccanismi di protezione, come descritto nel riferimento [15] considerando il caso di studio di un generico sistema di trasporto metropolitano. La Figura 4 mostra un possibile approccio alla modellazione del rischio che richiede la costruzione di modelli espressi in diversi formalismi: la determinazione della frequenza P può basarsi sulla correlazione di dati statistici attraverso modelli bayesiani; la valutazione della vulnerabilità V può essere effettuata attraverso modelli a reti di Petri stocastiche, che consentono di tener conto sia dell'evoluzione temporale delle minacce che delle latenze di rilevamento e di intervento; la valutazione del danno D può basarsi su alberi degli eventi (*Event Trees*), che consentono di prevedere



l'entità delle conseguenze modellando dipendenze causa-effetto. Modelli che tengano conto in modo più dettagliato delle dinamiche di

evoluzione delle minacce possono essere adottati nel contesto di studio delle infrastrutture critiche, e ciò consente anche di evidenziare le interd-

Figura 3. Modelli di supporto alle verifiche funzionali statiche (a) e dinamiche (b).

Figura 4. Valutazione del rischio basata su diversi formalismi.

pendenze dei sistemi ferroviari con le altre infrastrutture interagenti (ad esempio, le reti di distribuzione elettrica o quelle di telecomunicazioni) [16].

Metodi per l'analisi attraverso approcci multi-formalismo degli attributi di security sono in corso di studio. Uno degli obiettivi è quello di utilizzare librerie di modelli modulari che opportunamente istanziati e composti tra loro consentano con poco sforzo di valutare ed ottimizzare in modo automatico gli attributi di security del sistema, tenendo conto di eventuali vincoli esterni.

6. Rilevamento di minacce in tempo reale

Un'ulteriore interessante applicazione dei modelli consiste nel rilevamento in tempo reale di minacce, in applicazioni che possono andare dalla diagnostica, alla prognostica, al rilevamento precoce di attacchi terroristici anche di tipo strategico, al monitoraggio di parametri ambientali per realizzare sistemi di allerta precoce e supporto alle decisioni. In tali applicazioni, i modelli realizzano il motore di rilevamento che fonde dati sensoriali eterogenei alla ricerca di *pattern* noti di minacce, preventivamente memorizzati in una specifica base dati secondo un opportuno linguaggio di specifica di eventi composti.

Un requisito importante, in tal caso, è la possibilità di reazione in tempo reale, che richiede modelli compatti e/o formalismi caratterizzati da efficienza risolutiva elevata. A tal scopo, possono essere impiegati formalismi deterministici o probabilistici. Alla

prima categoria appartengono, ad esempio, gli alberi degli eventi, i cui risolutori sono caratterizzati da un'efficienza elevata. Purtroppo l'impiego di formalismi deterministici nei modelli di rilevamento consente di stimare al più il livello di evoluzione di una minaccia, ma non permette di rilevare scenari che si discostano da quelli noti, né di fornire degli indici di confidenza sul rilevamento. Viceversa, l'impiego di euristiche basate su modelli bayesiani, già utilizzate peraltro nel contesto degli *Intrusion Detection Systems* per le reti di calcolatori, consente, tra le altre cose, di tener conto dell'affidabilità del dato, e quindi stimare il livello di attendibilità dell'evento rilevato. Di conseguenza, è possibile associare al risultato un indice probabilistico, in funzione della propagazione del livello di incertezza sia sui parametri che sulla struttura del modello.

Una rappresentazione semplificata di un sistema del tipo sopra descritto è riportata in Figura 5, mentre per una descrizione di maggior dettaglio si rimanda al riferimento [17]. Tale sistema è attualmente in fase prototipale e se ne prevede una integrazione all'interno dei sistemi di gestione della security al fine di correlare eventi elementari per gli scopi suddetti, il che consente anche di incrementare l'affidabilità del rilevamento basandosi su diversità e ridondanza dei sensori [18].

7. Conclusioni e sviluppi futuri

In questo articolo abbiamo mostrato in un rapido excursus diversi approcci modellistici per valutazioni di affidabilità e sicurezza dei sistemi ferro-

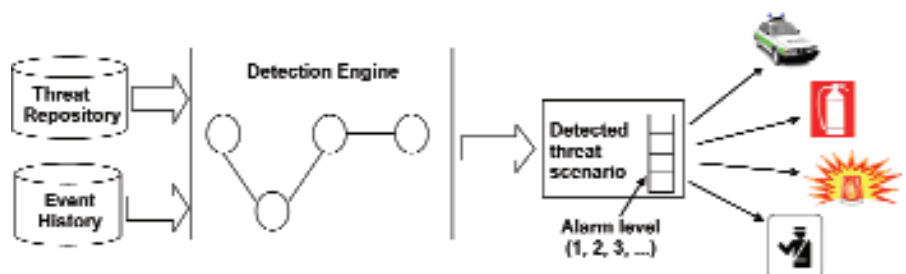


Figura 5. Modelli di rilevamento di minacce in tempo reale.

viari e metropolitani, evidenziando alcuni utili paradigmi, quale quello della modellazione multi-formalismo. Quest'ultimo è un aspetto della modellazione multi-paradigma, che comprende anche i concetti di astrazione e trasformazione dei modelli da un formalismo ad un altro. I formalismi adottati sono prevalentemente di tipo grafico, abbastanza diffusi perché tipicamente potenti e facili da usare. Non abbiamo affrontato in modo esplicito in questo lavoro la problematica della verifica di proprietà sui modelli (*model-checking* [19]) che è resa possibile da alcuni formalismi di modellazione basati sullo spazio di stato (si veda anche [20]).

Si è visto come, in generale, approcci basati su modelli siano impiegabili in molteplici applicazioni e consentano un elevato livello di rigore nella rappresentazione e precisione nella valutazione dei risultati. Inoltre, essi si prestano a tecniche di sviluppo modulari, eventualmente attraverso librerie di modelli predefiniti integrabili tramite opportuni operatori di composizione. Diverse sono le linee di ricerca ancora aperte affinché l'impiego di tecniche avanzate divenga una pratica comune in contesti industriali. Tra queste, oltre agli aspetti teorici legati alla composizione di modelli eterogenei, ci sono quelli tecnologici legati alla risoluzione distribuita tramite tecniche di *work-flow management* [21].

Infine, esistono tutta una serie di nuove applicazioni, tra cui quelle di *security* [22], che rappresentano un banco di prova stimolante per approcci di modellazione avanzati, i quali risultano indispensabili dal momento che la complessità dei problemi è tale da rendere le tecniche tradizionali inadeguate o poco efficaci.

Riferimenti bibliografici

1. CENELEC: EN 50126 Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), 1999
2. Nicol, D.M., Sanders, W.H., Trivedi, K.S.: Model-based evaluation: from dependability to security. In: Dependable and Secure Computing, IEEE Transactions on, Vol. 1, Issue 1, 2004: pp. 48-65
3. Flammini, F., Mazzocca, N., Vittorini, V.: Modelli per l'analisi di sistemi critici. In: Mondo Digitale, n. 3, Settembre 2009: pp. 11-21
4. UNISIG: ERTMS/ETCS Class 1 Issue 2.2.2 Subset 026, 2002
5. Sanders, W.H.: Integrated Frameworks for Multi-Level and Multi-Formalism Modeling. In: Proc. 8th Intl. Workshop on Petri Nets and Performance Models, 1999: p. 2
6. Flammini, F., Marrone, S., Mazzocca, N., Vittorini, V.: Modelling System Reliability Aspects of ERTMS/ETCS by Fault Trees and Bayesian Networks. In: Safety and Reliability for Managing Risk: Proceedings of the 15th European Safety and Reliability Conference, ESREL'06, Estoril, Portugal, September 18-22, 2006: pp. 2675-2683
7. Flammini, F., Iacono, M., Marrone, S., Mazzocca, N.: Using Repairable Fault Trees for the evaluation of design choices for critical repairable systems. In: Proceedings of the 9th IEEE Symposium on High Assurance Systems Engineering, HASE'05, Heidelberg, Germany, October 12-14, 2005: pp. 163-172
8. Zimmermann, A., Hommel, G.: Towards modeling and evaluation of ETCS real-time communication and operation. In: Journal of Systems and Software, Vol. 77, Issue 1, July 2005: pp. 47-54
9. Amendola, A. M., Impagliazzo, L., Marmo, P., Mongardi, G., Sartore, G.: Architecture and Safety Requirements of the ACC Railway Interlocking System. IEEE Proc. 2nd Annual Int. Computer Performance & Dependability Symposium (IPDS'96), Urbana Champaign, IL, USA, 1996: pp. 21-29
10. Flammini, F., Marrone, S., Mazzocca, N., Vittorini, V.: A new modelling approach to the safety evaluation of N-modular redundant computer systems in presence of imperfect maintenance. In: Reliability Engineering & System Safety (RESS), Vol. 94, Issue 9, September 2009: pp. 1422-1432
11. Abbaneo, C., Flammini, F., Lazzaro, A., Marmo, P., Mazzocca, N., Sanseviero, A.: UML Based Reverse Engineering for

- the Verification of Railway Control Logics. In: IEEE Proc. of Dependability of Computer Systems, DepCoS'06, Szklarska Porba, Poland, May 25-27, 2006: pp. 3-10
12. De Nicola, G., di Tommaso, P., Esposito, R., Flammini, F., Marmo, P., Orazio, A.: A Grey-Box Approach to the Functional Testing of Complex Automatic Train Protection Systems. In: LNCS Vol. 3463: The Fifth European Dependable Computing Conference, EDCC-5, Budapest, Hungary, April 20-22, 2005: pp. 305-317
 13. Flammini, F., Mazzocca, N., Orazio, A.: Automatic instantiation of abstract tests to specific configurations for large critical control systems. In: Journal of Software Testing, Verification & Reliability (STVR), Vol. 19, Issue 2, 2009: pp. 91-110
 14. Flammini, F., di Tommaso, P., Lazzaro, A., Pellicchia, R., Sanseviero, A.: The Simulation of Anomalies in the Functional Testing of the ERTMS/ETCS Trackside System. In: Proc. 9th IEEE Symposium on High Assurance Systems Engineering, HASE'05, Heidelberg, Germany, October 12-14, 2005: pp. 131-139
 15. Flammini, F., Gaglione, A., Mazzocca, N., Pragliola, C.: Quantitative Security Risk Assessment and Management for Railway Transportation Infrastructures. In: Proc. 3rd International Workshop on Critical Information Infrastructures Security, CRITIS'08, LNCS 5508, 2009: pp. 180-189
 16. Flammini, F., Mazzocca, N., Pragliola, C., Vittorini, V.: A Study on Multiformalism Modelling of Critical Infrastructures. In: Proc. 3rd International Workshop on Critical Information Infrastructures Security, CRITIS'08, LNCS 5508, 2009: pp. 336-343
 17. Flammini, F., Gaglione, A., Mazzocca, N., Moscato, V., Pragliola, C.: On-line integration and reasoning of multi-sensor data to enhance infrastructure surveillance. In: Journal of Information Assurance and Security (JIAS), Vol. 4, Issue 2, 2009: pp. 183-191
 18. Bocchetti, G., Flammini, F., Pappalardo, A., Pragliola, C.: Dependable integrated surveillance systems for the physical security of metro railways. In: Proc. 3rd ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras (ICDSC 2009), 30 August - 2 September, 2009, Como, Italy
 19. Cimatti, A., Giunchiglia, F., Mongardi, G., Romano, D., Torielli, F., Traverso, P.: Formal Verification of a Railway Interlocking System using Model Checking. In: Journal on Formal Aspects in Computing, Vol. 10, 1998: pp. 361-380
 20. Senesi, F., Malangone, R., Piccolo, A., Galdi V.: Utilizzo di linguaggi formali per l'analisi e la valutazione delle specifiche di test del sistema ERTMS della rete italiana ad alta velocità. In: Ingegneria Ferroviaria, Dicembre 2006, p. 957
 21. Di Lorenzo, G., Flammini, F., Iacono, M., Marrone, S., Moscato, F., Vittorini, V.: The software architecture of the OsMoSys multiresolution framework. In: Proc. 2nd International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools, VALUETOOLS'07, Nantes, France, October 23-25, 2007: pp. 1-10
 22. Flammini, F., Mazzocca, N., Pragliola, C.: Protezione delle infrastrutture di trasporto su ferro. In: Safety & Security, N. 8, Marzo 2008: pp. 12-16

MODELLAZIONE AFFIDABILISTICA DEL VENTO

Modelli per la valutazione delle variazioni della velocità del vento



1. Introduzione

La potenza generata da un aerogeneratore dipende dalla velocità del vento registrata nel sito, che fluttua nel tempo. Gli studi sulla potenza prodotta richiedono, pertanto, modelli accurati per la valutazione delle variazioni della velocità del vento.

2. Trattamento statistico dei dati

In Figura 1 è riportato un esempio di profilo della velocità del vento, relativo ad una campagna di misura della durata di un anno, con registrazioni effettuate ogni venti minuti in una località della Sardegna.

Per classificare i dati si può procedere ad una divisione delle registrazioni in classi equispaziate, così come riportato nella Tabella 1, dove accanto alla classe sono indicati: l'intervallo di appartenenza, il numero di registrazioni presenti nella classe e la frequenza della classe, stimata mediante l'utilizzo della formula (1).

$$\hat{f}_{(i)} = \frac{N_{(i)}}{N_T} \quad (1)$$

dove $N_{(i)}$ è il numero di registrazioni nella classe ed N_T è il numero totale di registrazioni.

Dal campione di dati così trattato si può calcolare la *fdp* (funzione densità di probabilità), rappresentata dall'istogramma in Figura 2. La linea continua individua la distribuzione Weibull, ottenuta a parità di valore medio, che meglio approssima l'istogramma; tale distribuzione è spesso

Tabella 1. Classificazione del vento.

Classe	Intervallo	N. campioni	frequenza
C	(m/s)	$N_{(i)}$	$f_{(i)}$
C_1	$[0,1[$	N_1	f_1
C_2	$[1,2[$	N_2	f_2
C_3	$[2,3[$	N_3	f_3
C_4	$[3,4[$	N_4	f_4
...
C_N	$[w_{max}, \infty[$	N_N	f_N

utilizzata in letteratura per questo tipo di studi.

È possibile osservare che la distribuzione Weibull stima correttamente i valori di alta velocità del vento, mentre sottostima i valori bassi per alcune classi e li sovrastima per altre; da ciò si evince l'importanza dell'utilizzo di un modello che tenga conto della reale *fdp* del vento.

Al fine di rendere più chiara l'applicazione dei modelli realizzati, come caso studio è stato scelto un campione di dati meno numeroso, senza per questo inficiare la bontà dei risultati. Le registrazioni riportate in Figura 3 sono relative ad una campagna di 722 misure di velocità del vento effettuate ogni ora a dieci metri di altezza dal suolo, in una località della Tanzania.

3. Modellazione

Data la non linearità della curva caratteristica degli aerogeneratori, che sarà di seguito mostrata in dettaglio,

Teresa Manco

“ La compensazione dell'indisponibilità di potenza eolica in futuro potrà essere di interesse non solo nei sistemi isolati, ma anche in quelli connessi in rete per particolari livelli di disponibilità richiesti ”

Figura 1. Campione delle velocità del vento.

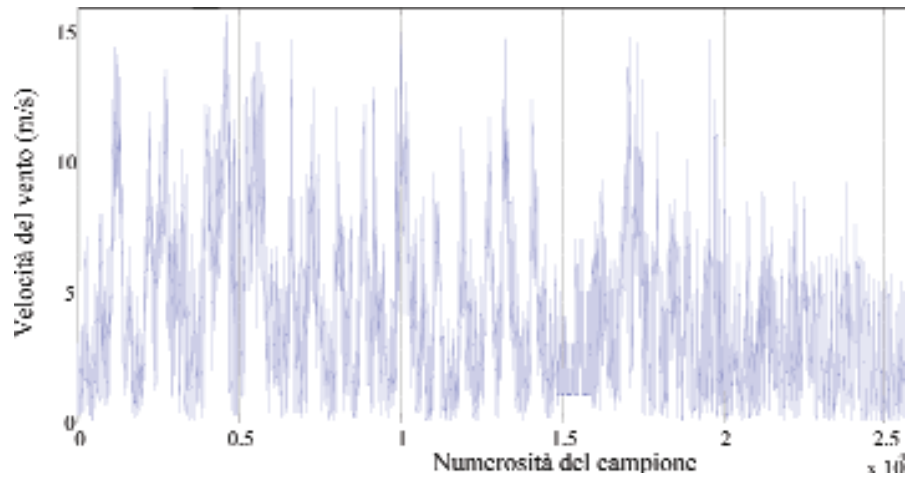


Figura 2. *pdf* delle velocità registrate (istogramma) e distribuzione Weibull con parametri $\alpha=0.3407$, $\beta=1.4052$ (linea continua).

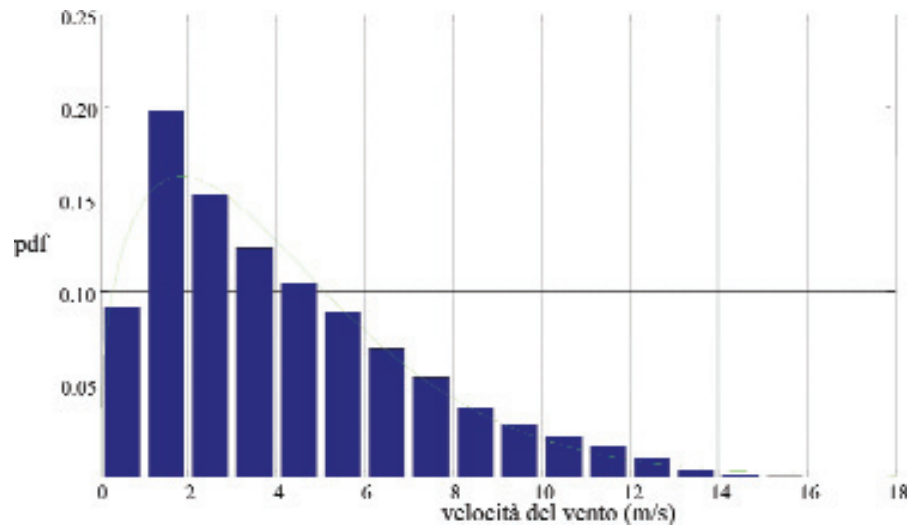
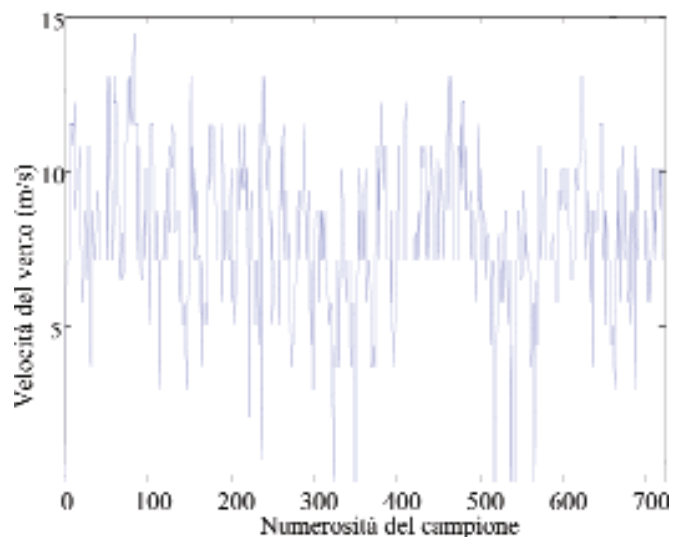


Figura 3. Campagna di misura utilizzata nel caso studio.



le registrazioni delle velocità del vento vanno suddivise in classi non equispaziate per tenere conto di ciò. Ad esempio, considerando che l'aerogeneratore non genera potenza al di sotto della velocità di cut-in ($w_{\text{cut-in}}$) e al di sopra della velocità di cut-off ($w_{\text{cut-off}}$), nella prima classe vanno inserite tutte le registrazioni inferiori alla velocità di cut-in e superiori alla velocità di cut-off, così come mostrato nella Tabella 2, dove sono riportati la nuova suddivisione delle registrazioni in classi non equispaziate, l'intervallo corrispondente e la probabilità di ogni classe, stimata come frequenza della classe.

l'aerogeneratore e α è un parametro che dipende dalla rugosità e dalle caratteristiche dell'aria.

4. Modellazione markoviana del vento

In Figura 4 è riportato il modello markoviano realizzato per il vento, particolarizzato al caso studio con soli quattro stati, corrispondenti alle prime quattro classi del vento. Nella quinta classe non sono presenti registrazioni e, pertanto, essa non è stata modellata con uno stato, essendo trascurabile la probabilità di accadimento. I tassi di transizione ϕ_{ij} del modello, ottenuto nell'ipotesi

Classe	Intervallo (m/s)	probabilità
W		$P(\cdot)$
W ₁	$[0, w_{\text{cut-in}}[\cup [w_{\text{cut-off}}, +\infty[$	P_1
W ₂	$[w_{\text{cut-in}}, w_2[$	P_2
W ₃	$[w_2, w_3[$	P_3
W ₄	$[w_3, w_4[$	P_4
...
W _N	$[w_{N-1}, w_{\text{cut-off}}[$	P_N

Tabella 2. Classificazione del vento in accordo alla curva caratteristica dell'aerogeneratore.

In accordo a quanto illustrato, le velocità del vento della campagna di misure in Figura 3 sono state divise in cinque classi, come riassunto nella Tabella 3. Esse sono state riportate all'altezza scelta per la torre dell'aerogeneratore di 55m. L'aerogeneratore scelto presenta $w_{\text{cut-in}}=4$ m/s e $w_{\text{cut-off}}=25$ m/s. La formula usata per ottenere la velocità del vento a z metri di altezza è:

$$v = v_1 \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha \quad (2)$$

dove v_1 è la velocità a 10 m dal suolo, z indica l'altezza della torre del-

che il tempo trascorso in ogni classe abbia una distribuzione esponenziale, sono stati calcolati con le formule (3), (4):

$$\phi_{0,i} = \frac{n_i/N_i}{N_i/N_i} \cdot \frac{1}{\Delta t} = \frac{n_i}{N_i} \cdot \frac{1}{\Delta t} \quad (\text{eventi/h}) \quad (3)$$

$$\phi_{i,i} = 1 - \sum \phi_{i,j} \quad (4)$$

dove n_{ij} rappresenta il numero di transizioni dalla classe i alla classe j, N_i il numero di campioni presenti nella classe i, così come riportati nella Tabella 3, Δt l'intervallo tra una registrazione e la successiva.

Classe	Intervallo (m/s)	N. campioni	Probabilità
W			$P(\cdot)$
W ₁	$[0, 4[\cup [25, +\infty[$	41	0.0568
W ₂	$[4, 7[$	106	0.1468
W ₃	$[7, 10[$	416	0.5762
W ₄	$[10, 15[$	159	0.2202
W ₅	$[15, 25[$	0	0

Tabella 3. Classificazione delle velocità del vento riportate in Figura 3.

Tabella 4. Transizioni tra gli stati.

$i \setminus j$	1	2	3	4
1	17	15	7	2
2	15	44	41	6
3	7	45	308	56
4	1	2	61	95

Per il calcolo dei tassi di transizione ϕ_{ij} tra le classi è stato conteggiato il numero di transizioni tra classi di vento anche non contigue, laddove in letteratura sono presenti modelli che non tengono conto dei salti tra le classi. In un lavoro precedente [1] è stato dimostrato che tali passaggi tra classi non contigue sono importanti ai fini di una corretta modellazione. Nella Tabella 4 sono riportate le transizioni n_{ij} dalla classe i alla classe j del vento, osservate passando da una registrazione del vento alla successiva, per il caso studio considerato. Le righe rappresentano lo stato di partenza, le colonne quello di arrivo. La transizione da i ad i rappresenta la permanenza in una classe. Nella Tabella 5 sono riportati i tassi di transizione per il modello di Figura 4, calcolati con le formule (3) e (4), essendo $\Delta t = 1$ h.

Le probabilità a regime sono state calcolate con il sistema di equazioni (5), di seguito riportato in forma generale:

$$\begin{aligned} \alpha_1 \cdot \sum_{j=1}^N \phi_{1j} - \sum_{j=1}^N \alpha_j \cdot \phi_{j1} &= 0 \\ \alpha_2 \cdot \sum_{j=2}^N \phi_{2j} - \sum_{j=2}^N \alpha_j \cdot \phi_{j2} &= 0 \\ \alpha_N \cdot \sum_{j=N}^N \phi_{Nj} - \sum_{j=N}^N \alpha_j \cdot \phi_{jN} &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Questo sistema è lineare con N equazioni in N incognite con un'equazione linearmente dipendente dalle altre, dove le incognite sono le probabilità degli stati a regime. Sostituendo ad una delle equazioni l'equazione di congruenza delle probabilità a regime, formula (6), si ottiene un sistema di N equazioni in N incognite linearmente indipendenti.

Tabella 5. Tassi di transizione.

ϕ_{ij} (eventi/h)	1	2	3	4
1	0,4146	0,3659	0,1707	0,0488
2	0,1415	0,4151	0,3868	0,0566
3	0,0168	0,1082	0,7404	0,1346
4	0,0063	0,0126	0,3836	0,5975

Il modello di Figura 4 è stato risolto in termini di probabilità a regime, che in genere sono quelle di maggior interesse in questo tipo di problemi, frequenze e durate degli stati, come mostrato nella Tabella 6.

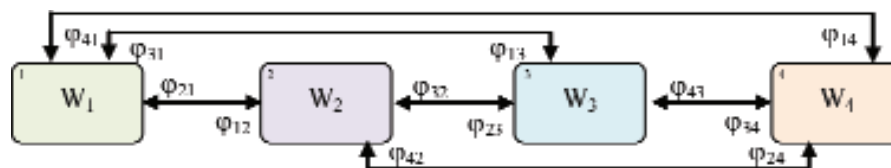
$$\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1 \quad (6)$$

A partire dalla soluzione del sistema si possono calcolare le frequenze degli stati come:

Tabella 6. Risultati del modello.

Stato	Probabilità a regime $\alpha(\cdot)$	Frequenza $f(\cdot)$ (eventi/h)	Durata $d(\cdot)$ (h)
W_1	0,0543	0,0318	1,7083
W_2	0,1458	0,0853	1,7097
W_3	0,5792	0,1504	3,8519
W_4	0,2208	0,0889	2,4844

Figura 4. Modello markoviano del vento di Figura 3.



$$f_i = \alpha_i \cdot \sum_{j=1}^N \varphi_{ij} \quad i=1, 2, \dots, N \quad (7)$$

Le durate medie degli stati possono essere ottenute direttamente dai tassi di transizione, come mostrato nella formula (8)

$$d_i = 1 / \sum_{j=1}^N \varphi_{ij} \quad i=1, 2, \dots, N \quad (8)$$

5. Aerogeneratore

Per il caso studio è stato scelto un aerogeneratore ad alta affidabilità di 850 kW. La curva caratteristica è riportata in Figura 5 e i dati operativi di interesse ai fini della modellazione sono riportati nella Tabella 7.

Partendo dalla suddivisione in classi di vento, riportata nella Tabella 3, con l'utilizzo della curva di potenza di Figura 5, è stata ottenuta la suddivisione in classi di potenza, così come riportato nella Tabella 8, dove sono indicate per ogni classe di potenza la corrispondente classe di vento, la potenza minima (P_m), la potenza massima (P_M) e la potenza media (P_{media}).

6. Aerogeneratore ideale

Nell'ipotesi di aerogeneratore ideale, non affetto da guasti, si ottiene il modello markoviano di Figura 6. Esso è analogo a quello di Figura 4. Data la corrispondenza tra classi di vento W_i e classi di potenza P_i , i risultati numerici riportati nella Tabella

Tabella 7. Dati operativi dell'aerogeneratore.

Velocità di cut-in (m/s)	4
Velocità nominale (m/s)	16
Velocità di cut-off (m/s)	25
Tasso di guasto (eventi/anno)	1
Tasso di riparazione (eventi/ora)	0.0069

Classe di potenza	Classe di vento	P_m (kW)	P_M (kW)	P_{media} (kW)
P_1	W_1	0	0	0
P_2	W_2	0	200	100
P_3	W_3	200	500	350
P_4	W_4	500	850	675
P_5	W_5	850	850	850

Tabella 8. Classi di potenza.

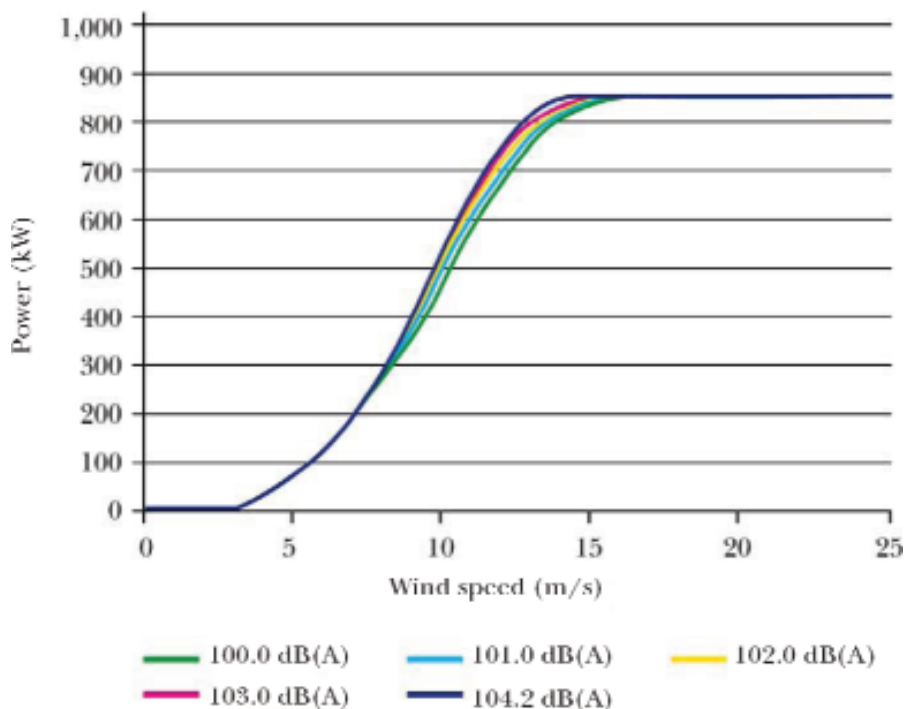


Figura 5. Curva caratteristica dell'aerogeneratore.

9 sono gli stessi di quelli del modello del vento riportati nella Tabella 6.

corrispondono alle probabilità a regime del modello del vento rappre-

Stato	Probabilità a regime $\alpha(-)$	Frequenza $f(-)$ (eventi/h)	Durata $d(-)$ (h)
P ₁	0,0543	0,0318	1,7083
P ₂	0,1458	0,0853	1,7097
P ₃	0,5792	0,1504	3,8519
P ₄	0,2208	0,0889	2,4844

Tabella 9. Risultati del modello.

7. Aerogeneratore non ideale

Per modellare affidabilisticamente l'aerogeneratore è stato utilizzato un modello semplicissimo a due stati, corrispondenti alle condizioni funzionante e guasto, mostrato in Figura 7, dove λ_{WT} e μ_{WT} rappresentano rispettivamente i tassi di guasto e di riparazione.

La combinazione tra il modello del vento, Figura 6, e il modello dell'aerogeneratore, Figura 7, consente di ottenere il modello markoviano delle velocità del vento con aerogeneratore non ideale, mostrato in Figura 8. È interessante considerare la possibilità di ridurre gli stati 5, 6, 7, 8 della Figura 8 ad un unico stato equivalente, così come mostrato in Figura 9, caratterizzato da aerogeneratore guasto.

Ciò consente di alleggerire il modello, che nelle applicazioni reali dovrà portare in conto un numero più elevato di stati, conseguenza di una suddivisione in un numero più elevato di classi di vento.

Tale semplificazione è stata ottenuta mediante l'utilizzo di alcuni coefficienti α_i introdotti per pesare opportunamente i tassi di riparazione. Essi

sono stati presentati in Figura 4, già calcolate in precedenza.

I risultati del modello completo, M_C , riportato in Figura 8, paragonati a quelli del modello semplificato, M_S , di Figura 9, sono riassunti nella Tabella 10.

I primi quattro stati hanno risultati identici sia in termini di probabilità a regime sia di frequenza e durata, pertanto non subiscono l'influenza della semplificazione.

La durata dello stato 5 nel modello semplificato rappresenta la permanenza nello stato "aerogeneratore guasto" e coincide con il tempo di riparazione dello stesso. Tale durata è riferita al caso studio in cui si è preso in considerazione un aerogeneratore installato in mare (Tanzania).

La durata degli stati 5, 6, 7, 8 del modello completo rappresenta la permanenza nello stato aerogeneratore guasto con vento rispettivamente nella classe 1, 2, 3, 4. Dato che nel corso della riparazione intervengono più transizioni tra gli stati 5, 6, 7, 8 conseguenza della fluttuazione nel tempo del vento, la durata degli stati non dà informazioni circa la durata della riparazione.

Figura 6. Modello markoviano della potenza con aerogeneratore ideale.

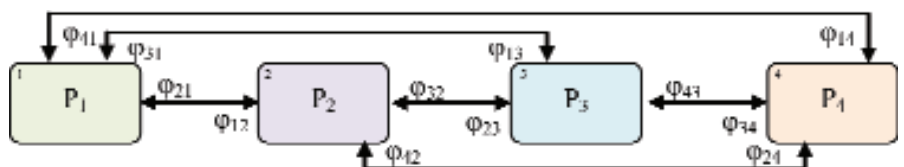
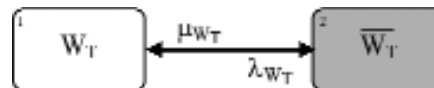


Figura 7. Modello markoviano dell'aerogeneratore.



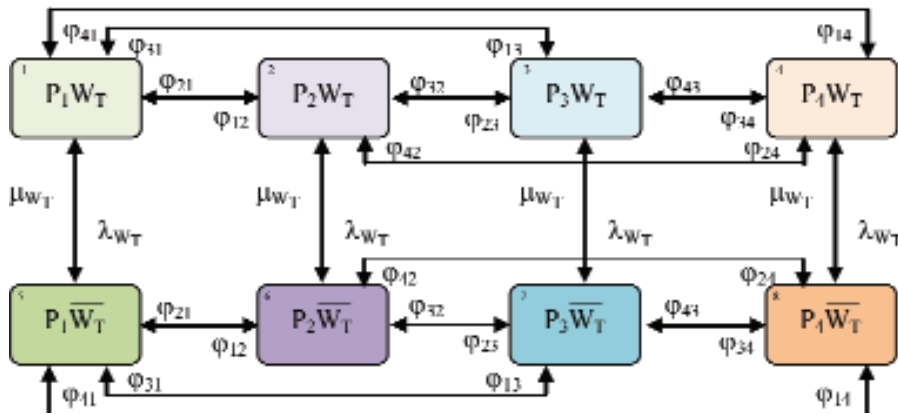


Figura 8. Modello dell'aerogeneratore con vento modellato come in Figura 4.

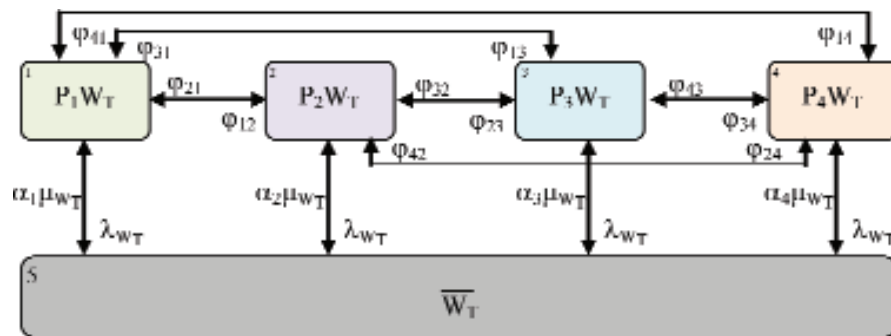


Figura 9. Modello semplificato dell'aerogeneratore con vento modellato come in Figura 4.

Stato Modelli	Probabilità a regime		Frequenza (eventi/h)		Durata (h)	
	M_C	M_S	M_C	M_S	M_C	M_S
1	0,0534	0,0534	0,0313	0,0313	1,7080	1,7080
2	0,1434	0,1434	0,0839	0,0839	1,7093	1,7093
3	0,5698	0,5698	0,1480	0,1480	3,8502	3,8502
4	0,2172	0,2172	0,0875	0,0875	2,4837	2,4837
5	0,0009	0,0162	0,0005	0,0001	1,6883	144
6	0,0024		0,0014		1,6896	
7	0,0094		0,0025		3,7515	
8	0,0036		0,0015		2,4422	

Tabella 10. Confronto tra i risultati dei modelli di Figura 8 e Figura 9.

8. Possibili applicazioni

Di seguito sono illustrate alcune delle possibili applicazioni di tale tipo di modellazione.

Stima della produzione di energia

È possibile valutare la produzione attesa di energia di un aerogeneratore in un anno, con le formule di seguito riportate. Utilizzando le probabilità a regime:

$$E_{\text{annuo}} = 8760 \cdot \sum_{i=1}^N P_i \alpha_i \quad [\text{kWh}] \quad (9)$$

Utilizzando le frequenze e le durate degli stati:

$$E_{\text{annuo}} = \sum_{i=1}^N f'_i P_i d_i \quad [\text{kWh}] \quad (10)$$

con

$$f'_i = 8760 \cdot f_i \quad [\text{eventi/anno}]$$

Dimensionamento delle riserve di energia

La compensazione dell'indisponibilità di potenza eolica in futuro potrà essere di interesse non solo nei sistemi isolati, ma anche in quelli connessi in rete per particolari livelli di disponibilità richiesti.

Tale indisponibilità è conseguenza di una velocità del vento ridotta o elevata o di un guasto dell'aerogeneratore. Al fine di una corretta modellazione di tale indisponibilità è fonda-

tenendo conto di un obiettivo stabilito di riduzione dell'indisponibilità di potenza. Ipotizzando che il livello minimo di potenza prodotta accettabile sia P2, la riserva di energia può essere calcolata come il prodotto di tale livello di potenza per una opportuna durata, t_{CSU} , che rappresenta la durata nella quale la CSU garantisce la disponibilità di potenza.

In Tabella 11 sono riportati i risultati ottenuti in termini di indisponibilità della riserva di energia per diverse

t_{CSU} ($\sigma=d$)	Exp. ($\sigma=d/\sqrt{N}$)	S. Erlangian ($\sigma=d/\sqrt{N}$)	Normale ($\sigma=2d/\sqrt{N}$)	Normale
$d(\cdot)$	0,37	0,47	0,50	0,50
1,1 $d(\cdot)$	0,33	0,40	0,43	0,46
1,5 $d(\cdot)$	0,22	0,21	0,19	0,45
2 $d(\cdot)$	0,15	0,08	0,04	0,17
3 $d(\cdot)$	0,06	0,01	0,0003	0,04
5 $d(\cdot)$	0,01	0,00	0,00	0,0003

Tabella 11. Indisponibilità della riserva di energia per diverse durate t_{CSU} e diverse fdp.

mentale la scelta della distribuzione della durata degli stati. Questa scelta non può essere operata a priori come spesso avviene, ma va fatta caso per caso, sulla base dei dati disponibili.

Da uno studio fatto nel 2008 [2] si riporta un esempio di tre possibili distribuzioni: la distribuzione esponenziale, che rappresenta la distribuzione della durata dello stato nei modelli markoviani; la distribuzione Special Erlangian, che è un'approssimazione della distribuzione lognormale ottenibile da un'estensione dei modelli markoviani; la distribuzione normale con due diverse scelte di parametri. La riserva di energia di una CSU (compensating supply unity), sia essa un pacco di batterie e inverter per compensare lo stato 1 o un gruppo di generazione diesel per lo stato 5 di Figura 9, può essere dimensionata

durate t_{CSU} , espresse come multipli della durata generica di uno stato, e per le tre diverse funzioni densità di probabilità, prima richiamate. Gli effetti del tipo di distribuzione adottata per la rappresentazione della durata degli stati (1 e 5) possono condizionare le scelte ed il dimensionamento della CSU.

Bibliografia

- [1] Manco, T., Testa, A., (2007). *A Markovian Approach to Model Power Availability of a Wind Turbine*, proc. of IEEE Power Tech 2007, Lausanne, Switzerland, July 1-5, 2007.
- [2] Carpentiero, V., Langella, R., Manco, T., Testa, A. (2008). *A Markovian Approach to Size a Hybrid Wind-Diesel Stand Alone System*, proc. of the 10th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Puerto Rico, USA, May 2008.

VULNERABILITÀ SISMICA DI EDIFICI SCOLASTICI IN MURATURA DI TORRE DEL GRECO

PARTE SECONDA

Analisi e confronto dei risultati



Sommario

La presente memoria si inquadra nell'ambito della attività del Gruppo di lavoro n.4 (WG4) "Risk Assessment for Catastrophic Scenarios in Urban Areas" del progetto di ricerca europeo COST Action C26 "Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events" (chair: F. M. Mazzolani) ed ha per oggetto la valutazione della vulnerabilità sismica di alcune scuole in muratura di Torre del Greco. Gli edifici scolastici, realizzati in muratura di blocchi di tufo, sono stati rilevati dal punto di vista geometrico e meccanico e la loro vulnerabilità sotto azioni sismiche è stata valutata mediante diverse metodologie di indagine. In particolare, sono state impiegate le seguenti procedure di analisi: 1) metodo GNDT-CNR (CNR, 1993a, b), basato sulla rapida compilazione di schede di rilievo; 2) metodo VM (Dolce e Moroni, 2005), un approccio semi-qualitativo in cui viene compilato uno specifico foglio di calcolo che restituisce le PGA dell'edificio con riferimento a specifici stati limite; 3) metodo FaMIVE (D'Ayala e Speranza, 2002), che consente di valutare la vulnerabilità nel piano e fuori piano di strutture murarie, una volta definite le loro principali proprietà geometriche e meccaniche; 4) programma 3MURI (S.T.A.DATA, 2010), che consente di valutare la vulnerabilità di edifici in muratura mediante analisi statiche non lineari. I risultati ottenuti dall'applicazione dei diversi metodi esami-

nati sono stati tra loro confrontati, consentendo la definizione di una graduatoria di vulnerabilità sismica delle scuole oggetto di indagine, utile per la programmazione di futuri interventi di adeguamento.

La vulnerabilità sismica delle scuole investigate

L'analisi di vulnerabilità degli edifici scolastici oggetto di indagine è stata effettuata applicando tutte le metodologie, speditive, semplificate e raffinate, illustrate nella I parte della presente memoria (Formisano e Mazzolani, 2010), che richiedono una conoscenza più o meno spinta delle peculiari caratteristiche geometriche e meccaniche degli edifici. Tutte le scuole esaminate sono realizzate con blocchi di muratura di tufo, le cui caratteristiche meccaniche possono determinarsi in base alle disposizioni della Circolare Ministeriale (2009), considerando il limitato livello di conoscenza (LC1) raggiunto per le stesse. Tale livello di conoscenza ha richiesto di effettuare il rilievo geometrico, verifiche in situ limitate sui dettagli costruttivi ed indagini in situ limitate sulle proprietà dei materiali. In particolare, per la resistenza ed il modulo elastico della tipologia muraria esaminata si considerano rispettivamente il valore minimo e medio degli intervalli riportati nella suddetta C.M. Ne risulta che il corrispondente fattore di confidenza (FC) per la determinazione delle proprietà meccaniche di calcolo dei materiali è pari a

A. Formisano*
F.M. Mazzolani**

Dipartimento di Ingegneria Strutturale
Università di Napoli Federico II
*antoform@unina.it
**fmm@unina.it

“ I risultati ottenuti dall'applicazione dei diversi metodi esaminati sono stati tra loro confrontati, consentendo la definizione di una graduatoria di vulnerabilità sismica delle scuole oggetto di indagine ”

1.35. Il coefficiente parziale di sicurezza γ_M sulla resistenza a compressione della muratura, comprensivo delle incertezze di modello e di geometria, viene espresso nella C.M. 2009 in funzione delle classi di esecuzione (1 in assenza di controllo di conformità o 2 quando tale controllo viene effettuato) e della categoria della malta utilizzata (I in caso di malta a prestazione garantita o II per malte di qualità generica). Considerando che i corpi principali delle scuole oggetto di investigazione sono stati edificati fra l'inizio del secolo scorso ed il 1960, le incertezze legate alle caratteristiche di esecuzione di tali strutture hanno portato a considerare i valori di categoria II e classe di esecuzione 1, che implicano rispettivamente la presenza di malta di tipo generico e nessun controllo di conformità sugli elementi per muratura. Pertanto il coefficiente di sicurezza γ_M risulta pari a 2.5.

Ai fini delle analisi sismiche, con particolare riferimento alla generazione dello spettro di domanda considerato dai metodi VM e dal software 3MUR per la valutazione dell'indice di vulnerabilità sismica, è necessario considerare che le scuole sono fondate su un sottosuolo di categoria B e che sono da ritenersi opere di importanza strategica, aventi vita nominale non inferiore a 100 anni, con classe d'uso IV, ossia costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità.

Le verifiche di vulnerabilità sismica sono state effettuate con riferimento allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), in cui la costruzione, a seguito del terremoto, subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali. Nonostante ciò, la costruzione conserva ancora una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un, anche se lieve, mar-

gine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

È doveroso sottolineare che le metodologie di analisi esaminate necessariamente forniscono risultati non omogenei fra loro, in quanto esprimono la vulnerabilità attraverso degli indici caratterizzati da differenti range di variabilità. Pertanto, per rendere significativo un confronto fra i risultati di questi metodi, è stato necessario operare nel seguito una normalizzazione di risultati rispetto al valore unitario, in modo che tutti gli indici possano variare nell'intervallo [0-1].

L'applicazione della procedura di analisi GNDT-CNR ha fornito i risultati riassunti in Tabella 1, dove sono riportate due tipologie di indici di vulnerabilità, quella assoluta ($I_{V,ass}$), derivante dalla compilazione della scheda di rilievo, e quella relativa ($I_{V,rel}$), ottenuta per normalizzazione dividendo l'indice assoluto per la metà del valore massimo (382.50) ottenibile dalla scheda, che risulta pari a 191.25. Tale operazione può essere giustificata considerando che, come dimostrato in precedenti studi (Benedetti e Petrini, 1984), l'attingimento del valore massimo risulta difficilmente ottenibile e che il valore limite assunto contrassegna certamente casi di estrema vulnerabilità.

Dalla Tabella 1 è evidente che l'edificio più vulnerabile sotto il punto di vista sismico è la scuola Mazza, a causa della presenza di un preesistente quadro fessurativo sulle pareti murarie e l'assenza di cordoli in c.a. in grado di conferire all'edificio un comportamento scatolare.

Ad eccezione della scuola Sauro, provvista di cordoli in c.a. che contribuiscono fortemente ad assegnarle un basso indice di vulnerabilità, tutte le altre scuole esaminate presentano più o meno la stessa medio-alta suscettibilità ad essere danneggiati in caso di evento sismico, in quanto risultano assenti i normali presidi antisismici, quali cordoli e catene.

D'altra parte, se osserviamo i risultati ottenuti applicando il metodo VM,

Scuola	$I_{v,ass}$	$I_{v,rel}$
Orsi	82.50	0.44
Chiazzolelle - Camaldoli	93.75	0.50
Leopardi - Campanariello	101.25	0.52
Mazza	131.25	0.68
Sauro	46.25	0.24

Tabella 1. Indici di vulnerabilità degli edifici scolastici secondo la procedura CNR - GNDT.

si possono trarre altre conclusioni. Questa metodologia consente di calcolare per ciascuna scuola il livello di accelerazione massimo (PGA) sopportabile dalla struttura, fornendo anche l'indicazione del livello strutturale e della direzione (longitudinale, secondo l'allineamento della facciata più lunga e trasversale, ortogonale a questa) in cui si attinge tale valore limite di accelerazione. I valori ricavati di PGA vengono successivamente divisi per il valore di accelerazione massima che contraddistingue lo spettro di domanda allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per l'area di Torre del Greco definito nelle nuove norme tecniche Italiane (D. M., 2008), fornendo in tal modo un indice strutturale di sicurezza sismica I_s . Il complemento ad uno di ciascuno di tali rapporti rappresenta l'indice di vulnerabilità $I_{v,rel}$ di ciascun edificio investigato nei riguardi di SLV. I risultati derivanti dall'applicazione del metodo VM sono mostrati in Tabella 2. Si evince che tutte le scuole presentano una vulnerabilità medio-alta (indici compresi fra 0.60 e 0.80) e che la scuola più vulnerabile in assoluto è la Leopardi-Campanariello, una delle scuole più a rischio anche secondo il metodo CNR-GNDT. Tutta-

via, secondo tale metodo, gli edifici che presentano una maggiore area muraria resistente alle azioni sismiche hanno una minore vulnerabilità. Pertanto le scuole Mazza e Chiazzolelle-Camaldoli, che presentano una significativa estensione planimetrica, risultano le meno vulnerabili, in disaccordo con quanto riscontrato nel metodo CNR-GNDT. Tale previsione potrebbe risultare veritiera solo se gli edifici presentassero un comportamento scatolare sotto azioni orizzontali. Ne risulta quindi che il metodo non consente di effettuare una stima attendibile della vulnerabilità sismica degli edifici sprovvisti di un buon collegamento solaio-pareti e di solai rigidi nel proprio piano. Il metodo FaMIVE, che consente di valutare la vulnerabilità nel piano e fuori dal piano degli edifici in muratura, è stato successivamente applicato a tutte le pareti murarie esterne delle scuole esaminate. I risultati derivanti dall'applicazione di tale metodologia forniscono sia il moltiplicatore ultimo dei carichi laterali (ESC) che attiva una serie di meccanismi di collasso, identificando quello che si verifica per primo, sia un indice di danno, in funzione dell'estensione del meccanismo alle parti dell'edifi-

Scuola	Piano crisi	Direzione crisi	PGA (g)	$I_{v,rel}$
Orsi	Terra	Trasversale	0.182	0.75
Chiazzolelle - Camaldoli	Primo	Longitudinale	0.235	0.67
Leopardi - Campanariello	Primo	Trasversale	0.143	0.80
Mazza	Terra	Longitudinale	0.217	0.70
Sauro	Primo	Longitudinale	0.171	0.76

Tabella 2. Indici di vulnerabilità degli edifici scolastici secondo la procedura VM.

cio interessate dallo stesso. In Tabella 3 vengono riportati tali risultati con riferimento per ciascun edificio scolastico ai meccanismi di collasso più gravosi manifestatisi nel piano e fuori dal piano delle costituenti pareti murarie. Nella stessa tabella tali meccanismi di collasso vengono indicati, come specificato nel metodo FaMIVE, con le seguenti lettere (Figura 1): - meccanismi fuori piano: A, B1, B2, C, D ed E; - meccanismi di flessione ad arco: F e G; - meccanismi nel piano: H. Per operare il confronto con gli altri metodi, gli indici di vulnerabilità V_{ass} ottenuti relativamente ai meccanismi nel piano e fuori piano sono stati divisi rispettivamente per 13.4 e 23.5, che rappresentano i valori massimi ricavati per tali meccanismi nel presente lavoro e in precedenti studi (D'Ayala e Speranza, 2002), in modo da ottenere indici di tipo relativo V_{rel} .

Dalla Tabella 3 è evidente che tutte le scuole presentano una vulnerabilità elevata delle proprie pareti sia nel piano che fuori dal piano. In particolare, la scuola Leopardi-Campanariello e la scuola Mazza manifestano una vulnerabilità ancora più elevata, rispettivamente nei riguardi di meccanismi di collasso a taglio nel piano e di ribaltamento globale fuori piano. È importante notare che i meccanismi fuori piano più rilevanti riscontrati nelle scuole investigate sono quelli di ribaltamento, di tipo globale, con e

senza coinvolgimento delle pareti ortogonali alla facciata interessata dal meccanismo stesso, di tipo parziale e del tipo che interessa solo una striscia verticale di facciata. Tali meccanismi sono caratterizzati da un indice di danno molto elevato, quasi sempre superiore a quello dei meccanismi nel piano. Ciò testimonia l'elevata pericolosità che può essere provocata dall'attivazione dei meccanismi fuori piano.

Infine la vulnerabilità sismica dei cinque edifici scolastici nei riguardi di possibili meccanismi di collasso nel piano delle pareti in muratura è stata valutata mediante il programma di analisi numeriche non lineari 3MURI. Sono state eseguite analisi pushover considerando due differenti distribuzioni di forze, una proporzionale alle masse strutturali e l'altra proporzionale al prodotto delle masse per le deformate corrispondenti al primo modo di vibrare, nonché una eccentricità accidentale rispetto alle posizioni dei centri di massa di ciascun orizzontamento derivanti dal calcolo, per tenere conto della variabilità spaziale del moto sismico, nonché di eventuali incertezze nella localizzazione delle masse (D. M., 2008). Le analisi forniscono le curve di capacità degli edifici, le quali possono essere confrontate nel piano "accelerazione spettrale – spostamento spettrale" con lo spettro di domanda caratteristico di un terremoto con pro-

Tabella 3. Indici di vulnerabilità degli edifici scolastici secondo la procedura FaMIVE.

Scuola	ESC	V_{ass}	V_{rel}	D	$I_{v,rel} = V_{rel} \times D$	Meccanismo collasso	Giudizio vulnerabilità
Orsi	0.15	6.8	0.51	1.1	0.56	H	Alto
	0.18	5.6	0.24	1.5	0.36	B2	Alto
Chiazzolelle - Camaldoli	0.14	7.1	0.53	1.04	0.55	H	Alto
	0.13	7.9	0.34	1.3	0.44	A	Alto
Leopardi - Campanariello	0.07	13.4	1.00	1.04	1.04	H	Molto alto
	0.17	6.1	0.26	0.91	0.24	D	Alto
Mazza	0.10	10.2	0.76	1.12	0.85	H	Alto
	0.05	21.0	0.89	1.5	1.33	A	Molto alto
Sauro	0.12	8.6	0.64	1.12	0.72	H	Alto
	0.17	6.0	0.26	1.2	0.31	E	Alto

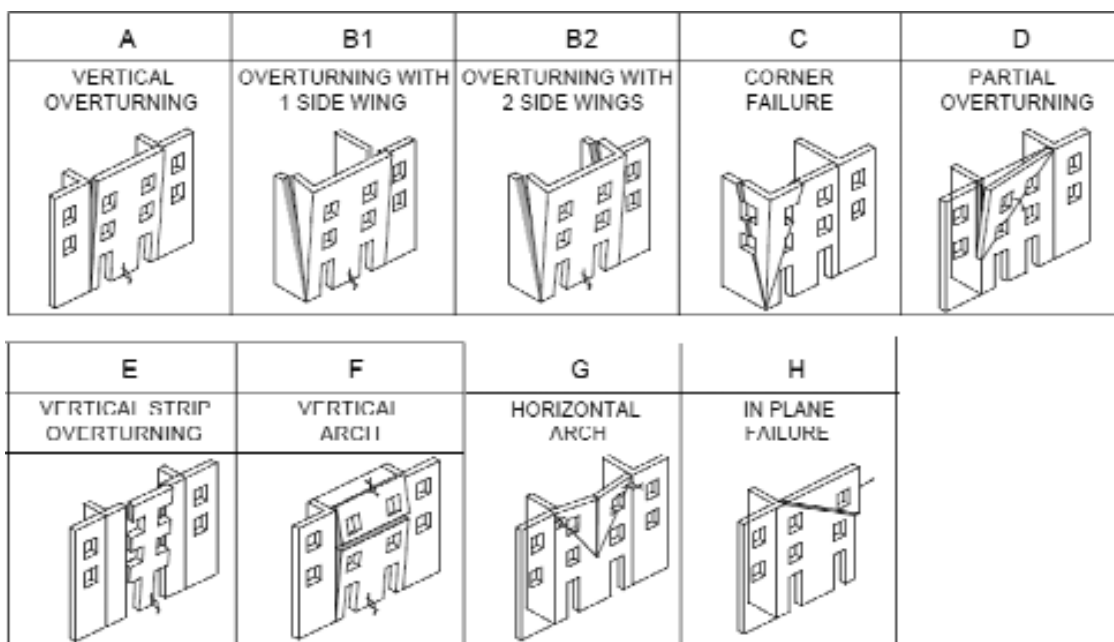


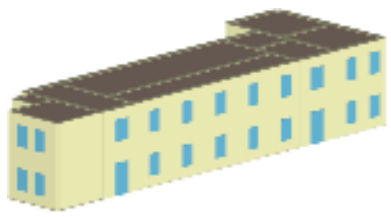
Figura 1. Meccanismi di collasso di pareti in muratura contemplati nel metodo FaMIVE.

babilità di superamento del 10% durante la vita utile della struttura. L'intersezione della curva con lo spettro consente di determinare, in accordo alla metodologia N2 proposta da Fajfar nel 1999 e recepita dal D.M. 2008, l'indice di vulnerabilità strutturale. In particolare, l'indice di vulnerabilità si ottiene dividendo lo spostamento massimo richiesto dal terremoto per lo spostamento ultimo desumibile dalla curva di capacità della struttura e può fornire anche valori superiori all'unità. In Figura 2 sono illustrati i modelli FEM delle scuole esaminate ed i risultati delle analisi pushover più gravose per ciascun edificio in termini di modello danneggiato, con le relative curve di capacità

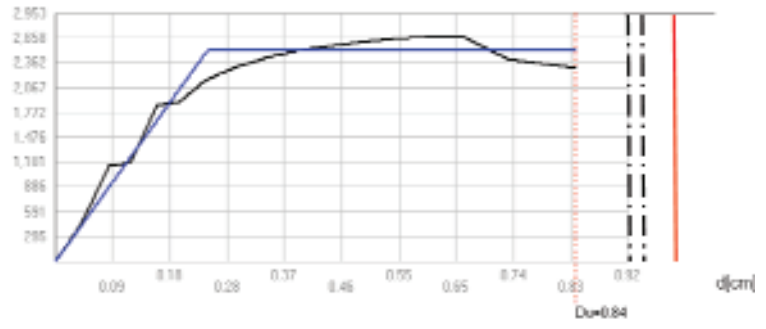
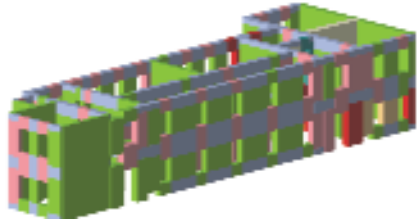
bilinearizzate corrispondenti ad un sistema ad un grado di libertà. I risultati delle analisi di vulnerabilità espressi sottoforma di indici sono riportati in Tabella 4, dove si nota che tutti gli edifici non riescono a sopportare l'evento sismico allo SLV previsto dalla normativa italiana nell'area di Torre del Greco, essendo gli indici di vulnerabilità superiori ad uno. Si nota inoltre che la scuola più vulnerabile è la scuola Mazza, come previsto anche dal metodo CNR-GNDT e dalla procedura FaMIVE. A conclusione dello studio, sono stati riportati in Figura 3 tutti i risultati ottenuti dalle procedure speditive e semplificate in uno stesso diagramma allo scopo di effettuare un utile

Scuola	D_{max} (cm)	D_U (cm)	$I_v = D_{max}/D_U$
Orsi	1.31	0.84	1.56
Chiazzolelle - Camaldoli	0.95	0.80	1.19
Leopardi - Campanariello	1.09	0.84	1.30
Mazza	5.27	3.06	1.72
Sauro	1.49	1.29	1.16

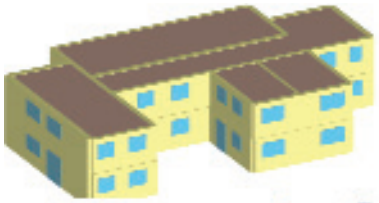
Tabella 4. Indici di vulnerabilità degli edifici scolastici secondo il programma di calcolo 3MURI.



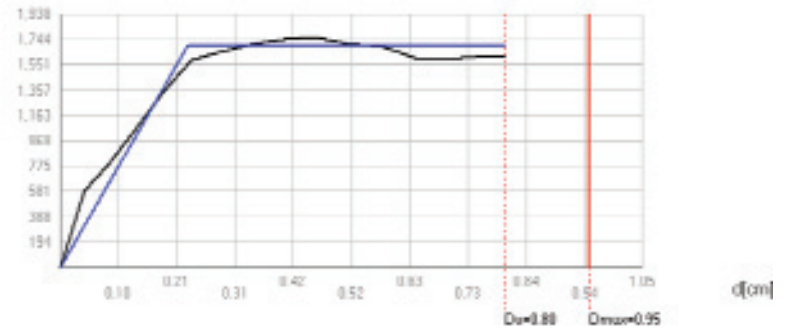
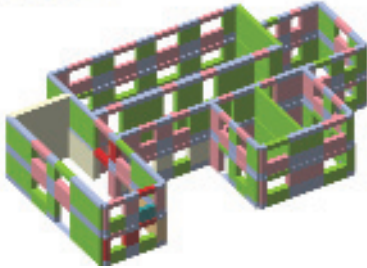
V[kN]



a)



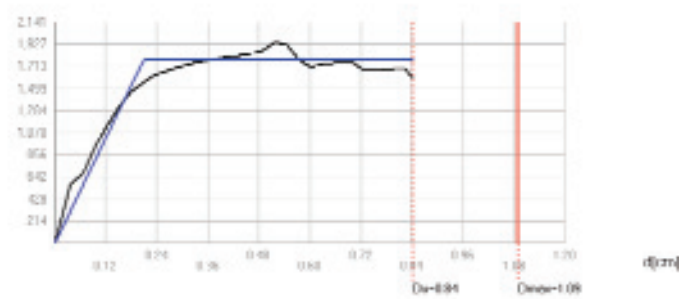
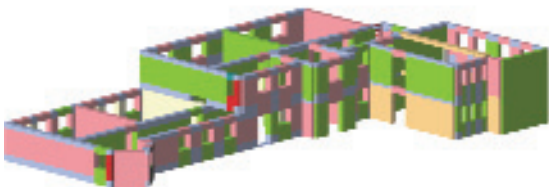
V[kN]



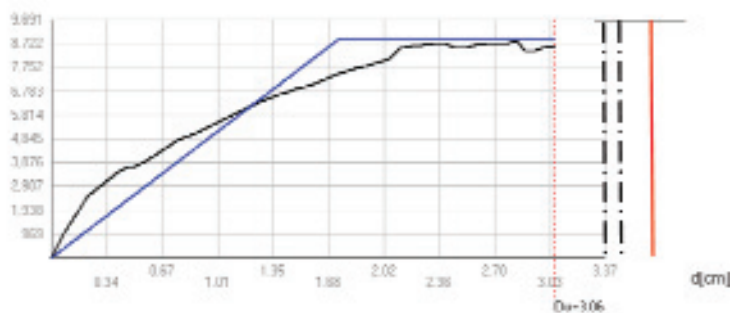
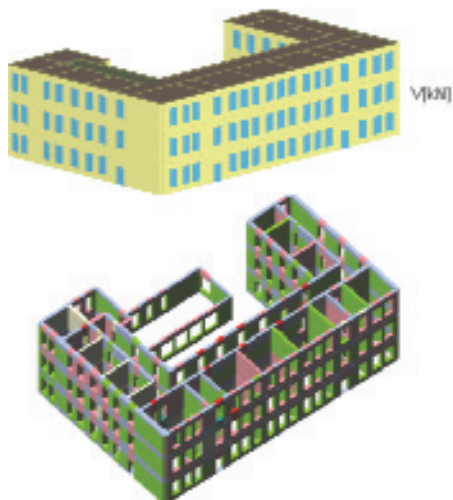
b)



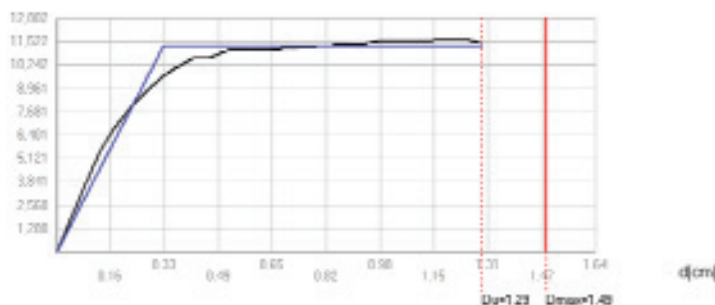
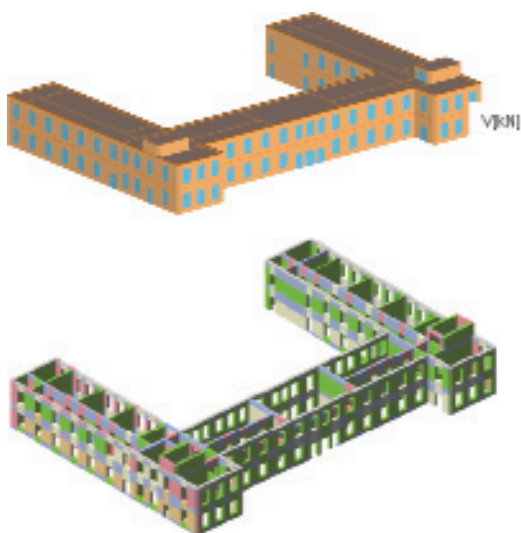
V[kN]



c)



d)



e)

confronto fra le metodologie esaminate, sia per evidenziarne pregi e difetti che per definire una scala di vulnerabilità degli edifici investigati. In particolare, per FAMIVE sono stati riportati due tipi di indici: il primo, rappresentato con istogramma giallo, corrisponde al maggiore fra gli indici V_{rel} relativi ai meccanismi nel piano e fuori piano, mentre il secondo, rappresentato con istogramma rosso, è ottenuto moltiplicando tale indice per il corrispondente indice di danno D , allo scopo di va-

lutare anche l'estensione del danneggiamento corrispondente al meccanismo di collasso che si attiva (vedi Tabella 3).

Successivamente, per stilare una graduatoria finale di vulnerabilità fra le scuole esaminate, i risultati sopra riportati sono stati comparati anche con quelli ottenuti mediante l'uso del software 3MURI.

Dai confronti effettuati è emerso che:
1. La scuola Mazza risulta la più vulnerabile secondo tutte le metodologie, ad eccezione della proce-

Figura 2. Modelli FEM originari e danneggiati (rosa = plasticizzazione per presso-flessione; rosso = collasso per presso-flessione; arancione = collasso per taglio) e curve di capacità delle scuole esaminate: a) Orsi; b) Chiazze-Camaldoli; c) Leopardi-Campanariello; d) Mazza; e) Sauro.

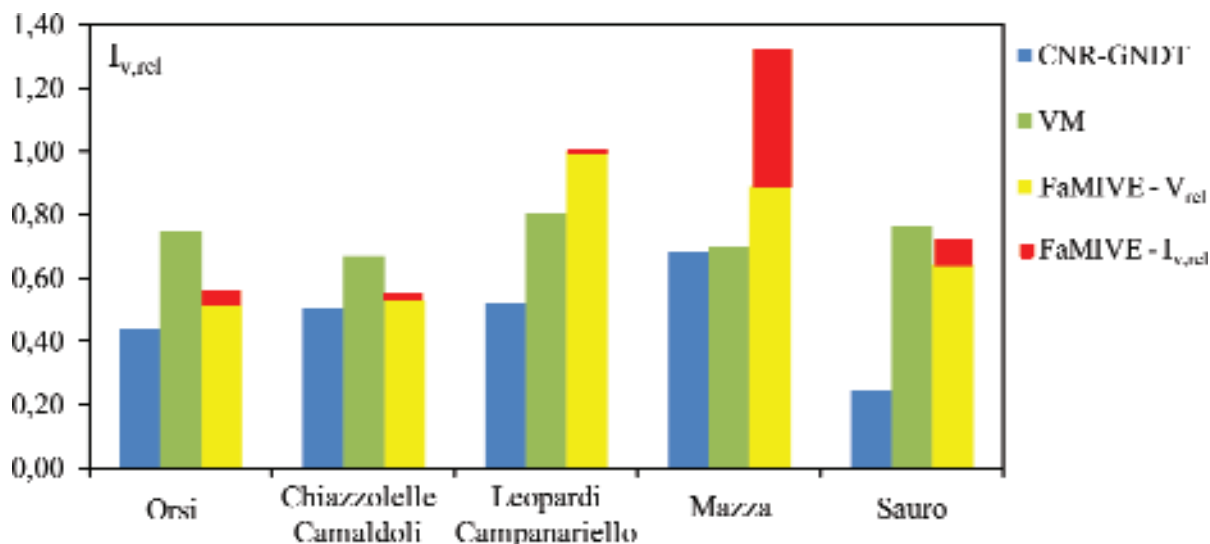


Figura 3. Vulnerabilità sismica degli edifici scolastici oggetto di indagine secondo i differenti metodi esaminati.

1. I metodi CNR-GNDT e FaMIVE, che considerano il comportamento sia nel piano che fuori dal piano delle pareti delle strutture in muratura, presentano una classifica di vulnerabilità degli edifici esaminati molto simile, sebbene caratterizzata da indici differenti. La stessa graduatoria di indici considerata da tali metodi viene prevista anche dal programma 3MURI, se si esclude l'eccezione della scuola Orsi, che presenta un comportamento nel piano decisamente deficitario, considerata la presenza di un certo numero di maschi snelli che plasticizzano e collassano per presso-flessione.
2. I metodi CNR-GNDT e FaMIVE, che considerano il comportamento sia nel piano che fuori dal piano delle pareti delle strutture in muratura, presentano una classifica di vulnerabilità degli edifici esaminati molto simile, sebbene caratterizzata da indici differenti. La stessa graduatoria di indici considerata da tali metodi viene prevista anche dal programma 3MURI, se si esclude l'eccezione della scuola Orsi, che presenta un comportamento nel piano decisamente deficitario, considerata la presenza di un certo numero di maschi snelli che plasticizzano e collassano per presso-flessione.
3. Mediando gli indici di vulnerabilità ottenuti con tutti i metodi di analisi, è stato possibile stilare la seguente graduatoria di vulnerabilità in senso decrescente: 1) Mazza; 2) Leopardi-Campanariello; 3) Orsi; 4) Chiazzolelle-Camaldoli; 5) Sauro.

4. I metodi che meglio condividono tale classifica sono la procedura CNR-GNDT ed il programma di calcolo 3MURI.
5. Il metodo FaMIVE invece è quello che riesce a cogliere in maniera più soddisfacente gli indici di vulnerabilità ottenuti mediando i risultati delle diverse procedure.

Pertanto è possibile concludere che:

- Il metodo CNR-GNDT, basato sull'impiego di semplici schede di rilievo che richiedono la conoscenza di una ridotta quantità di informazioni, fornisce una buona previsione del comportamento nel piano e fuori dal piano degli edifici esaminati, sebbene non indichi le carenze strutturali, da investigare mediante analisi più sofisticate.
- Il metodo VM, che considera esclusivamente il collasso nel piano delle pareti murarie, non fornisce una buona stima della vulnerabilità sismica degli edifici investigati, in quanto in essi risultano quasi sempre assenti cordoli in c.a. e solai adeguatamente rigidi nel proprio piano.

- Il metodo FaMIVE, considerando sia meccanismi di collasso nel piano che fuori piano, può ritenersi uno strumento completo per lo studio delle strutture murarie, che riesce a prevedere in maniera soddisfacente il livello di vulnerabilità delle scuole esaminate.
- Il programma di calcolo 3MURI è senz'altro il metodo di analisi più preciso nel valutare il comportamento nel piano degli edifici in muratura, riuscendo nel contempo anche a stimare in maniera sostanzialmente corretta la classifica di vulnerabilità delle scuole investigate. Tuttavia il suo impiego dovrebbe essere associato a quello di uno strumento che effettua l'analisi del comportamento delle pareti fuori piano per fornire una stima più adeguata della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura.

Considerazioni conclusive

Nella presente memoria è stata eseguita la valutazione della vulnerabilità sismica di cinque edifici scolastici in muratura siti nel comune di Torre del Greco. Tale attività è stata condotta comparando i risultati derivanti dall'applicazione di metodologie di analisi speditive (CNR-GNDT), semplificate (VM e FaMIVE) e raffinate (3MURI). Tutti i metodi investigati considerano gli edifici scolastici vulnerabili per azioni nel piano, con un indice di vulnerabilità variabile da medio-alto (CNR-GNDT e VM), ad alto (FaMIVE), a molto alto (3MURI). Per quanto riguarda invece il comportamento fuori-piano, solo i metodi CNR-GNDT e FaMIVE ne tengono conto, ma solo quest'ultimo riesce a fornire una stima attendibile dell'elevata vulnerabilità sismica delle strutture investigate. I risultati delle analisi hanno evidenziato che: 1) Il metodo GNDT fornisce una buona previsione del comportamento globale degli edifici esaminati, sebbene non ne indichi le carenze strutturali, che dovranno essere investigate mediante analisi più sofisticate. 2) Il metodo VM non riesce a cogliere bene le reali vulnera-

bilità, in quanto può ritenersi valido solo se vengono rispettate le ipotesi di buon collegamento tra le pareti e la presenza di cordoli o catene. 3) Il metodo FaMIVE appare il migliore fra quelli esaminati, considerando le analisi di vulnerabilità strutturali sia nel piano che fuori piano e fornendo una soddisfacente previsione di comportamento nel primo caso ed un'ottima analisi di vulnerabilità nel secondo. 4) Il programma 3MURI risulta sicuramente il più affidabile nel valutare il comportamento strutturale nel piano, essendo il metodo impiegato più complesso, ma deve essere necessariamente affiancato da una metodologia che analizza il comportamento fuori piano delle pareti al fine di fornire un'analisi completa degli edifici in zona sismica.

Sulla base dei risultati ottenuti dall'applicazione delle diverse metodologie, è stata infine stilata una classifica di vulnerabilità media degli edifici oggetto di indagine, che consentirà di definire le priorità degli interventi di adeguamento sismico da effettuare.

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano esprimere i loro ringraziamenti all'Amministrazione comunale di Torre del Greco, nelle persone dell'ing. Giovanni Salerno e del geom. Pasquale Laguda, per aver fornito i grafici architettonici relativi agli edifici scolastici investigati nella presente memoria, nonché all'ing. Alfredo Pironti, che ha elaborato le analisi di tali edifici nell'ambito della sua tesi di laurea.

Bibliografia

- Benedetti, D. e Petrini, V. 1984. On seismic vulnerability of masonry buildings: proposal of an evaluation procedure. *L'industria delle costruzioni*, 18: 55-78.
- Circolare Ministeriale n. 617 pubblicata il 02/02/09 (C.M.). 2009. *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M.14/01/08*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 47, Supplemento Ordinario n. 27.

- Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). 1993a. Gruppo Nazionale per la Difesa Dai Terremoti (GNDT). Rilevamento dell'Esposizione e Vulnerabilità Sismica degli Edifici. *Appendice No. 1 alla Pubblicazione "Rischio Sismico di Edifici Pubblici Parte I – Aspetti Metodologici"*, Roma.
- Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). 1993b. Gruppo Nazionale per la Difesa Dai Terremoti (GNDT). Rilevamento della Vulnerabilità degli Edifici in Muratura. *Appendice No. 2 alla Pubblicazione "Rischio Sismico di Edifici Pubblici Parte I – Aspetti Metodologici"*, Roma.
- D'Ayala, D. e Speranza, E. 2002. An integrated procedure for the assessment of seismic vulnerability of historic buildings. *Proc. 12th European Conference on Earthquake Engineering*, Paper Reference 561.
- Decreto Ministeriale dei Lavori Pubblici pubblicato il 14/01/08 (D.M.). 2008. *Nuove norme tecniche per le costruzioni*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana.
- Dolce, M. e Moroni, C. 2005. La valutazione della vulnerabilità e del rischio sismico degli edifici pubblici mediante le procedure VC (vulnerabilità c.a.) e VM (vulnerabilità muratura). *Report del Progetto SAVE - Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani – Task 2: Inventario e vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro-meridionale*.
- Formisano, A. e Mazzolani, F. M. 2010. Vulnerabilità sismica di edifici scolastici in muratura di Torre del Greco – I Parte: Gli edifici ed i metodi di indagine esaminati. *Ingegneri Napoli, Notiziario dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli N.4*.
- Fajfar, P. 1999. Capacity Spectrum Method based on Inelastic Demand Spectra. *Earthquake Engng. and Struct. Dyn.* 28: 979-993.
- S.T.A.DATA. 2010. *3MURI. General description, version 4*. <http://www.3muri.com/3muri/documenti/3MuriGeneralDescription.pdf>

I NUOVI ISTITUTI TECNICI PUNTANO ALLA QUALITÀ MA NON RINUNZIANO ALLA TERMINALITÀ PROFESSIONALIZZANTE



La riforma della Scuola secondaria superiore ha prodotto una mutazione epocale nel modo di essere dei percorsi formativi che accompagnano il giovane dall'adolescenza alla piena maturità, ma nello stesso tempo è stata accompagnata da una serie di problematiche che hanno riguardato la struttura dell'organizzazione scolastica, il ruolo del personale docente e non docente, una limitazione degli spazi occupazionali ed un coinvolgimento di impegni economici consistenti in un momento di grave crisi mondiale.

Per quanto riguarda, in particolare, gli Istituti Tecnici Industriali il processo innovativo è stato lungo e laborioso, partendo dagli anni settanta – dopo la contestazione giovanile del '69 – con i famosi decreti delegati sulla gestione partecipativa della scuola, attraverso i ben noti “progetti assistiti”, che consentirono, sotto una fittizia sperimentazione, di adeguare i programmi di studio, fino al periodo di incertezze e lassismo dell'ultimo decennio in concomitanza, almeno qui da noi, con una crisi occupazionale per i giovani senza precedenti.

La qualità della formazione per i tecnici diplomati è andata gradatamente calando, tanto che i collegi professionali andavano chiedendo a viva voce di ridurre la terminalità professionale del curriculum, ed i disegni dei ministri Berlinguer, Moratti e Fioroni andavano in quella direzione, ridefinendo gli Istituti Tecnici come Licei Tecnologici, con l'apparente

obiettivo di nobilitarli, ma di fatto svuotandoli dei loro contenuti tradizionali.

Fortunatamente il mondo del lavoro, e segnatamente Confindustria e le organizzazioni degli ingegneri docenti, hanno saputo centrare l'attenzione sulla irrinunciabilità di questa figura professionale, attrice fondamentale nella ricostruzione post bellica e successivamente nella costruzione del boom economico portando l'Italia tra le maggiori potenze industriali del Mondo.

Il disegno definitivo della riforma degli Istituti tecnici risponde a questa esigenza.

Da un lato, il pesantissimo quadro orario degli antichi curricula del 1961 (inizialmente 38 ore, poi portate a 36 teoriche) doveva ed è stato riportato in limiti a misura d'uomo, di 32 ore settimanali, concedendo ai giovani allievi la possibilità di vivere un'adolescenza coerente con le esigenze di un mondo a tecnologia avanzata; dall'altra è stata data grande attenzione alla formazione culturale e scientifica di base, portando l'Istruzione Tecnico a requisiti qualitativi assolutamente corrispondenti a quelli dei Licei Classico e Scientifico, rinunciando alla valenza addestrativa delle discipline tecnico-professionali per attribuir loro una valenza formativa in termini umani, culturali e di acquisizione di capacità ancor prima che di competenze.

I docenti degli Istituti Tecnici sono chiamati a rivedere il loro ruolo, nel-

Emilia Russo

“ I problemi che hanno caratterizzato le contestazioni sono tutti estranei alla validità del percorso formativo ”

l'obiettivo di portare a maturità giovani capaci di competere con i coetanei provenienti dai licei, ma con in più delle spiccate capacità spendibili nelle attività professionali e, più in generale, nel mondo del lavoro, con attenzione alle esigenze del territorio, con gli attributi intellettuali per poter specializzarsi nello specifico in brevi segmenti post secondari, ovvero accedere nelle Università prevalentemente nel settore tecnico dove potranno acquisire eccellenze professionali non facili per i liceali.

I giovani hanno subito letto questa innovazione, e l'improvvisa inversione di tendenza nelle iscrizioni agli Istituti Tecnici, e particolarmente negli Istituti

Tecnici Industriali, già nello scorso anno, sono il segnale più tangibile quanto significativo.

I problemi che hanno caratterizzato le contestazioni sono tutti estranei alla validità del percorso formativo. Essi sono rilevanti, perché coinvolgono il posto di lavoro per docenti e personale tutto della scuola, e richiedono investimenti in apparecchiature tecnologiche avanzata ben più consistenti. Ma questi problemi vanno risolti su altri tavoli, mentre resta la realtà di una scuola tecnica qualitativamente moderna, culturalmente impegnativa, mirata a creare una generazione di diplomati in grado di misurarsi con una società evoluta e globalizzata.

SCIA E VVF

Nuova classificazione



Le preoccupazioni avanzate in più sedi dagli ingegneri italiani, in merito alle profonde modifiche nelle procedure di prevenzione incendi dopo la emanazione delle norme riguardanti la SCIA (Segnalazione Certificata di Inizio Lavori) ha visto il CNI impegnato a sollecitare chiarezza e rispetto dei ruoli professionali.

Un incontro presso l'Istituto Superiore Antincendi tra i vertici nazionali dei Vigili del Fuoco e gli ingegneri che partecipano ai Comitati Tecnici Regionali VV F in rappresentanza degli ordini, organizzato dal vice presidente del CNI Pietro Ernesto De Felice con la collaborazione della Commissione Impianti, aveva consentito di mettere a fuoco le problematiche e suggerire soluzioni che, rispettando il principio di semplificare le procedure, dessero priorità ai professionisti, ed in primo luogo agli ingegneri, particolarmente qualificati evitando che, soprattutto per le attività soggette definite semplici, si potesse determinare una degenerazione verso facili autocertificazioni a basso prezzo e con scarsa garanzia per la effettiva sicurezza incendio.

Occorre dar merito ai vertici dei VV F (tutti ingegneri, dal capo Pini al direttore dell'ISA Dattilo, a Giomi, Boscaini e quant'altri hanno intensamente lavorato sull'argomento), di aver predisposto per i politici uno schema di regolamento che, (accogliendo qualche ulteriore suggerimento di messa a punto) ha riscontrato il consenso nostro ed unanime dell'intero Comitato.

In sintesi, le attività soggette saranno divise in tre categorie:

- a) semplici;
- b) mediamente complesse;
- c) complesse.

Per le attività soggette semplici si era ipotizzata una semplice autocertificazione di un professionista. In accoglimento delle nostre sollecitazioni, in verità insieme ad analoghe considerazioni dei Periti Industriali e di Confedilizia, alla riunione del Comitato Centrale Tecnico Scientifico del 23 febbraio presso l'ISA (Istituto Superiore Antincendio) si è definito la opportunità che anche per queste attività sia preventivamente depositato un progetto asseverato di un tecnico abilitato (noi suggeriamo un tecnico che abbia frequentato un corso ex 818) presso il Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco, con visite a campione che potrebbero determinare prescrizioni o addirittura sospensione. La qualità è garantita dalla competenza del progettista, senza lungaggini né appesantimenti negli impegni dei VV F, atteso che dette attività costituiranno circa il 50% delle pratiche normalmente attivate oggi.

Per le attività mediamente complesse, il progetto depositato al Comando Provinciale sarà esaminato entro 60 giorni, con successiva inizio attività e controlli a campione.

Per le attività complesse, il progetto verrà esaminato entro 60 giorni, ma le visite, in questo caso, verranno effettuate a tappeto.

Pietro Ernesto De Felice

“L'esigenza attuale è quella di avviare subito il processo considerato che la SCIA è operativa ormai da alcuni mesi, ed i tecnici che operano nel settore hanno urgente bisogno di punti di riferimento”

In ogni caso, sempre alla base della procedura Vi sarà un progetto sottoscritto da professionista abilitato.

Quanto sopra impone una preventiva rivisitazione del Decreto 16 febbraio 1982 che definiva le attività soggette, e su questo argomento si è concordato, nella citata riunione del CCTS, un nuovo quadro che univocamente definisce per ciascuna attività soggetta la qualificazione in fascia a), b) oppure c). Un pregevole lavoro, che ha registrato anche la eli-

minazione di qualche attività obsoleta, l'accorpamento di altre, la individuazione di nuove. Forse potrebbero immaginarsi ulteriori correttivi, ma l'esigenza attuale è quella di avviare subito il processo considerato che la SCIA è operativa ormai da alcuni mesi, ed i tecnici che operano nel settore hanno urgente bisogno di punti di riferimento.

In allegato si sintetizza la probabile nuova classificazione delle attività soggette.

ELENCO DELLE ATTIVITÀ SOGGETTE ALLE VISITE E AI CONTROLLI DI PREVENZIONE INCENDI



N.	Comprende le attività del DM 16/02/1982	ATTIVITÀ	CATEGORIA			NOTE
			A	B	C	
1	<p>1 - Stabilimenti ed impianti ove si producono o/o impiegano gas combustibili, gas comburenti (compressi, disciolti, liquefatti) con quantità globali in ciclo o in deposito superiori a 50 Nm³/h</p> <p>9 - Impianti per il trattamento di prodotti petroliferici e gasoli utilizzati come combustibili</p> <p>10 - Impianti per l'idrogenazione di oli e grassi</p> <p>11 - Aziende per la seconda lavorazione del vetro con l'impiego di oltre 15 tascchi a gas</p>	<p>Stabilimenti ed impianti ove si producono o/o impiegano gas infiammabili o/o comburenti con quantità globali in ciclo o in deposito superiori a 25 Nm³/h.</p>			Tutti	È stato modificato il termine "gas combustibile" con "gas infiammabile" per rendere coerente l'indicazione della sostanza con le fasce di rischio. Il valore di 50 Nm ³ /h è stato portato a 25 Nm ³ /h per ricomprendere le attività 9, 10 e 11 ex DM 16/2/82 che non presentavano una specifica soglia di suscettibilità.
2	<p>2 - Impianti di compressione o di decompressione del gas combustibili e comburenti con potenzialità superiore a 50 Nm³/h</p>	<p>Impianti di compressione o di decompressione del gas infiammabili o/o comburenti con potenzialità superiore a 50 Nm³/h, con esclusione dei sistemi di riduzione del gas restante inseriti nella rete di distribuzione con pressione di esercizio non superiore a 0,5 MPa</p>		Cabine di decompressione del gas naturale fino a 2,4 MPa	Tutti gli altri casi	Si semplificano le procedure relative all'autorizzazione di cabine di decompressione del gas naturale fino a 2,4 MPa in quanto trattasi di attività normale (DM 24.5.2002) con tipologie di impianti e consolidata realizzazione.
3	<p>3 - Depositi e rivendite di gas combustibili in bombole:</p> <p>a) compressi: - per capacità complessiva da 0,75 a 2 mc - per capacità complessiva superiore a 2 mc</p> <p>b) disciolti o liquefatti (in bombole o bidoni): - per quantitativi complessivi da 75 a 500 kg - per quantitativi complessivi superiori a 500 kg</p>	<p>Impianti di riempimento, depositi, rivendite di gas infiammabili in recipienti mobili</p> <p>a) Compressi con capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,75 m³.</p> <p>b) disciolti o liquefatti per quantitativi complessivi superiori o uguali a 0,75 kN.</p>	<p>Depositi di GPL fino a 3 kN</p>	<p>rendite, depositi fino a 10 m³</p> <p>rendite, depositi di GPL oltre 3 kN e fino a 10 kN, depositi di gas infiammabili diversi dal GPL fino a 10 kN</p>	<p>Impianti di riempimento, depositi oltre 10 m³</p> <p>Impianti di riempimento, depositi oltre 10 kN</p>	<p>La voce comprende ora anche gli impianti di riempimento che attualmente non trovano una specifica collocazione, pur essendo trattati come depositi.</p>

4	4 Depositi di gas combustibili in serbatoi fissi: a) compressi per capacità complessiva da 0,75 a 2 mc per capacità complessiva superiore a 2 mc b) disciolti o liquefatti per capacità complessiva da 0,3 a 2 mc per capacità complessiva superiore a 2 mc	Depositi di gas incombustibili in serbatoi fissi: a) compressi per capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,75 m ³ . b) disciolti o liquefatti per capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 0,3 m ³	---	Fino a 2 m ³	Oltre i 2 m ³	Sono stati previsti procedimenti semplificati per il GPL in ragione del diffuso utilizzo e dell'esistenza della normativa
5	5 - Depositi di gas combustibili in serbatoi fissi: a) compressi per capacità complessiva superiore a 3 mc b) liquefatti per capacità complessiva superiore a 2 mc	Depositi di gas combustibili compressi o liquefatti in serbatoi fissi o recipienti mobili per capacità geometrica complessiva superiore o uguale a 3 m ³ .	Depositi di GPL fino a 5 m ³	Fino a 10 m ³	Oltre i 10 m ³	Sono stati inseriti i recipienti mobili, precedentemente non previsti per figurare nel una legge del DM 16.2.1982. Il limite di assoggettabilità dei combustibili disciolti e liquefatti è stato portato a 3 m ³ per consentire l'omogeneità delle classi e conseguentemente dei relativi procedimenti associati
6	6 - Reti di trasporto e distribuzione di gas combustibili, compresi quelli di origine petrolifera o chimica, con esclusione delle reti di distribuzione cittadina e dei relativi impianti con pressione di esercizio non superiore a 5 bar	Reti di trasporto e di distribuzione di gas incombustibili, compresi quelli di origine petrolifera o chimica, con esclusione delle reti di distribuzione e dei relativi impianti con pressione di esercizio non superiore a 0,5 MPa	fino a 2,4 MPa	oltre 2,4 MPa	Tutti	Sono state introdotte per il metano delle semplificazioni in ragione della presenza di una consolidata normativa. Relativamente ai metanodotti, si ritiene che tutti gli impianti che hanno un tracciato oltre l'ambito provinciale, ma ricadenti entro la regione, debbano essere visti in ambito regionale mentre quelli con percorrenza extraregionale dovranno essere esaminati a livello centrale, con il coinvolgimento dei Comandi competenti per territorio.
7	96 - Piattaforme fisse e strutture fisse assimilabili di perforazione e/o produzione di idrocarburi di cui al decreto del Presidente della Repubblica 24 maggio 1978, n. 696	Piattaforme fisse e strutture fisse assimilabili di perforazione e/o produzione di idrocarburi di cui al decreto del Presidente della Repubblica 24 maggio 1978, n. 696			Tutti	Non sono state inserite le varie tipologie di terminali petroliferi in quanto gli stessi sono già compresi tra le attività a rischio di incidente rilevante
8	97 - Oleodotti con diametro superiore a 100 mm	Oleodotti con diametro superiore a 100 mm		Tutti	Tutti	Relativamente agli oleodotti, si ritiene che tutti gli impianti che hanno un tracciato oltre l'ambito provinciale, ma ricadenti entro la regione, debbano essere visti in ambito regionale mentre quelli con percorrenza extraregionale dovranno essere esaminati a livello centrale, con il coinvolgimento dei Comandi competenti per territorio.
9	8 - Officine e laboratori con saldatura e taglio dei metalli utilizzando gas combustibili o combustibili, con oltre 5 addetti	Officine e laboratori con saldatura e taglio dei metalli utilizzando gas incombustibili o combustibili, con oltre 5 addetti di saldatura e taglio		fino a 10 postazioni	oltre 10 postazioni	L'assoggettabilità è stata portata in funzione del posti di saldatura anziché del numero di addetti, come era nella precedente attività 8, per tenere maggiormente in considerazione il rischio effettivo in azienda
10	12 - Stabilimenti ed impianti ove si producono o impiegano liquidi infiammabili (punto di infiammabilità fino a 65 °C) con quantitativi globali in ciclo o in deposito superiori a 0,5 mc 13 - Stabilimenti ed impianti ove si producono o impiegano liquidi combustibili con punto di infiammabilità da 65 °C a 125 °C, per quantitativi globali in ciclo o in deposito superiori a 0,5 mc	Stabilimenti ed impianti ove si producono o impiegano, liquidi infiammabili o combustibili con punto di infiammabilità fino a 125 °C, con quantitativi globali in ciclo o in deposito superiori a 1 m ³		fino a 50 m ³	oltre 50 m ³	Sono stati accorpate i depositi di liquidi infiammabili e combustibili, elevando la soglia dei liquidi infiammabili da 0,5 m ³ a 1 m ³ in considerazione dell'evoluzione delle caratteristiche tecnologiche e di sicurezza dei depositi stessi

11	14 - Stabilimenti ed impianti per la preparazione di oli lubrificanti diatermici e simili	Stabilimenti ed impianti per la preparazione di oli lubrificanti, oli diatermici e simili, con punto di infiammabilità superiore a 120 °C, con quantitativi globali in ciclo e/o in deposito superiori a 5 m ³ .		fino a 100 m ³	oltre 100 m ³	Si inserisce il limite di 5 m ³ per omogeneità con attività similan
12	16 Depositi di liquidi infiammabili e/o combustibili per uso industriale, agricolo, artigianale e privato: - per capacità geometrica complessiva da 0,5 a 25 mc. - per capacità geometrica complessiva superiore a 25 mc. 16 - Depositi e/o rivendite di liquidi infiammabili e/o combustibili per uso commerciale: - per capacità geometrica complessiva da 0,2 a 10 mc. - per capacità geometrica complessiva superiore a 10 mc. 17 - Depositi e/o rivendite di oli lubrificanti, di oli diatermici e simili per capacità superiori ad 1 mc.	Depositi e/o rivendite di liquidi infiammabili e/o combustibili e/o oli lubrificanti, diatermici, di qualsiasi derivazione, di capacità geometrica complessiva superiore a 1 m ³ .	liquidi con punto di infiammabilità superiore a 65 °C per capacità geometrica complessiva compresa da 1 m ³ a 9 m ³	liquidi infiammabili e/o combustibili e/o lubrificanti e/o oli diatermici di qualsiasi derivazione per capacità geometrica complessiva compresa da 1 m ³ a 50 m ³ , ad eccezione di quelli indicati nella colonna A)	liquidi infiammabili e/o combustibili e/o lubrificanti e/o oli diatermici di qualsiasi derivazione per capacità geometrica complessiva superiore a 50 m ³	Sono state accorpate più attività del DM 15.2.1982 per inglobare in un'unica voce tutti i depositi di liquidi infiammabili, combustibili e lubrificanti, a qualsiasi titolo detenuti nello stesso sito di stoccaggio. Il limite è fissato da 1 m ³ a 9 m ³ , in modo che lo stesso sia coerente con l'installazione di distributori rimovibili a servizio di cave, cantieri, aziende agricole ed a servizio di mulctti
13	7 Impianti di distribuzione di gas combustibili per autotrazione 18 - Impianti fissi di distribuzione di benzina, gasolio e miscele per autotrazione ad uso	Impianti fissi di distribuzione carburanti per l'autotrazione, la risalita e l'eventuale, contenitori - distributori rimovibili di carburanti liquidi.				Sono state accorpate le tipologie di distributori carburanti liquidi e gassosi eliminando le differenze/azioni nell'ambito di più tipologie di attività (deposito/impianto). Relativamente ai distributori rimovibili viene chiarito che questi sono soggetti in tutte le modalità d'uso. Vengono collocate nella tipologia
	pubblico e privato con o senza stazione di servizio	a) Impianti di distribuzione carburanti liquidi	Contenitori distributori rimovibili di carburanti liquidi fino a 9 mc con punto di infiammabilità superiore a 65 °C	Solo liquidi combustibili,	Tutti gli altri	procedurale "C" le attività soggette alle visite della Commissione carburanti. Nella tipologia procedurale "B" sono state invece compresi i distributori di liquidi combustibili.
		b) Impianti fissi di distribuzione carburanti gassosi e di tipo misto (liquidi e gassosi)			Tutti	
14	21 - Officine o laboratori per la verniciatura con vernici infiammabili e/o combustibili con oltre 5 addetti	Officine o laboratori per la verniciatura con vernici infiammabili e/o combustibili con oltre 5 addetti.		fino a 25 addetti	oltre 25 addetti	
15	22 - Depositi e/o rivendite di alcoli a concentrazione superiore al 60% in volume: con capacità da 0,2 a 10 mc con capacità superiore a 10 mc.	Depositi e/o rivendite di alcoli con concentrazione superiore al 60% in volume di capacità geometrica superiore a 1 m ³	fino a 10 m ³	oltre 10 m ³ e fino a 50 m ³	oltre 50 m ³	È stato aumentato il limite inferiore da 0,2 m ³ a 1 m ³ , per omogeneità con altri prodotti infiammabili

16	23 - Stabilimenti di estrazione con solventi infiammabili e raffinazione di oli e grassi vegetali ed animali, con quantitativi globali di solventi in ciclo e/o in deposito superiori a 0,5 mc	Stabilimenti di estrazione con solventi infiammabili e raffinazione di oli e grassi vegetali ed animali, con quantitativi globali di solventi in ciclo e/o in deposito superiori a 0,5 m ³			Tutti	
17	24 - Stabilimenti ed impianti ove si producono, impiegano o detengono sostanze esplodenti classificate come tali dal regolamento di esecuzione del testo unico delle leggi di pubblica sicurezza approvato con regio decreto 6 maggio 1940, n. 635, e successive modificazioni ed integrazioni, nonché perossidi organici	Stabilimenti ed impianti ove si producono, impiegano o detengono sostanze esplodenti classificate come tali dal regolamento di esecuzione del testo unico delle leggi di pubblica sicurezza approvato con regio decreto 6 maggio 1940, n. 635, e successive modificazioni ed integrazioni.			Tutti	
18	25 - Esercizi di minuta vendita di sostanze esplodenti di cui ai decreti ministeriali 10 ottobre 1973 e 10 settembre 1975, e successive modificazioni ed integrazioni	Esercizi di minuta vendita di sostanze esplodenti di cui ai decreti ministeriali 10 ottobre 1973 e 10 settembre 1975, e successive modificazioni ed integrazioni. Esercizi di vendita di artifici pirotecnici declassificati in "libera vendita" con quantitativi complessivi in vendita e/o deposito superiori a 5 kg, comprensivi degli imballaggi.	Esercizi di vendita di artifici pirotecnici declassificati in "libera vendita"	Esercizi di minuta vendita di sostanze esplodenti di cui ai decreti ministeriali 10 ottobre 1973 e 10 settembre 1975, e successive modificazioni ed integrazioni.	Sono stati inseriti gli esercizi che detengono in vendita e/o in deposito prodotti pirotecnici declassificati, aventi una natura di rischio similare a quella dei fumififeri	
19	26 - Stabilimenti ed impianti ove si producono, impiegano o detengono sostanze instabili che possono dar luogo da sole a reazioni pericolose in presenza o non di catalizzatori	Stabilimenti ed impianti ove si producono, impiegano o detengono sostanze instabili che possono dar luogo da sole a reazioni pericolose in presenza o non di catalizzatori ivi compresi i perossidi organici			Tutti	
20	27 - Stabilimenti ed impianti ove si producono, impiegano o detengono nitrati di ammonio, di metalli alcalini e alcalino terrosi, nitrato di piombo e perossidi inorganici	Stabilimenti ed impianti ove si producono, impiegano o detengono nitrati di ammonio, di metalli alcalini e alcalino terrosi, nitrato di piombo e perossidi inorganici			Tutti	
21	28 - Stabilimenti ed impianti ove si producono, impiegano o detengono sostanze soggette all'accensione spontanea e/o sostanze che a contatto con l'acqua sviluppano gas infiammabili	Stabilimenti ed impianti ove si producono, impiegano o detengono sostanze soggette all'accensione spontanea e/o sostanze che a contatto con l'acqua sviluppano gas infiammabili.			Tutti	
22	29 - Stabilimenti ed impianti ove si produce acqua ossigenata con concentrazione superiore al 60% di perossido di idrogeno	Stabilimenti ed impianti ove si produce acqua ossigenata con concentrazione superiore al 60% di perossido di idrogeno			Tutti	
23	31 - Stabilimenti ed impianti ove si produce, impiega o detiene fosforo bianco	Stabilimenti ed impianti ove si produce, impiega o detiene fosforo bianco			Tutti	

24	32 - Stabilimenti ed impianti per la macinazione e la raffinazione dello zolfo; 33 - Depositi di zolfo con potenzialità superiore a 100 q.li	Stabilimenti ed impianti per la macinazione e la raffinazione dello zolfo; depositi di zolfo con potenzialità superiore a 100 kN		Tutti	Si accorpiano le voci n. 32 e 33 ex D.M. 16/2/1982 per omogeneità delle attività e delle sostanze
25	30 Fabbriche e depositi di fiammiferi	Fabbriche di fiammiferi; depositi di fiammiferi con quantitativi superiori a 5 kN		Tutti	È stata introdotta una soglia minima di 5 kN per i soli depositi di fiammiferi
26	34 - Stabilimenti ed impianti ove si produce, impiega o detiene magnesio, elektron e altre leghe ad alto tenore di magnesio	Stabilimenti ed impianti ove si produce, impiega o detiene magnesio, elektron e altre leghe ad alto tenore di magnesio		Tutti	
27	35 - Mulini per cereali ed altre macinazioni con potenzialità giornaliera superiore a 200 q.li e relativi depositi	Mulini per cereali ed altre macinazioni con potenzialità giornaliera superiore a 200 kN, depositi di cereali e di altre macinazioni di capacità geometrica superiore a 500 kN	Depositi di cereali e di altre macinazioni fino a 1000 kN	Mulini per cereali ed altre macinazioni, depositi oltre 1000 kN	Sono stati considerati fra le attività soggette anche i depositi non pertinenti i mulini
28	36 - Impianti per l'essiccazione dei cereali e di vegetali in genere con depositi di capacità superiore a 500 q.li di prodotto essiccato	Impianti per l'essiccazione di cereali e di vegetali in genere con depositi di prodotto essiccato di capacità superiore a 500 kN		Tutti	
29	37 - Stabilimenti ove si producono surrogati del caffè	Stabilimenti ove si producono surrogati del caffè		Tutti	
30	38 Zuccherifici e raffinerie dello zucchero	Zuccherifici e raffinerie dello zucchero		Tutti	
31	39 - Pesticidi con produzione giornaliera superiore a 500q.li 40 - Riserve con potenzialità giornaliera superiore a 100 q.li	Pesticidi e/o riserve con produzione giornaliera superiore a 500 kN		Tutti	Sono state accorpate le attività di pesticidi e riserve uniformando i limiti di soglia
32	41 - Stabilimenti ed impianti ove si lavora o si detiene foglie di tabacco con processi di essiccazione con oltre 100 addetti o con quantitativi globali in ciclo o in deposito superiori a 500 q.li	Stabilimenti ed impianti ove si lavora o si detiene foglie di tabacco con processi di essiccazione con oltre 100 addetti o con quantitativi globali in ciclo o in deposito superiori a 500 kN		Tutti	
33	42 - Stabilimenti ed impianti per la produzione della carta e dei cartoni e di allestimento di prodotti cartotecnici in genere con oltre 25 addetti o con materiale in deposito o lavorazione superiore a 500 q.li	Stabilimenti ed impianti per la produzione della carta e dei cartoni e di allestimento di prodotti cartotecnici in genere con oltre 25 addetti o con materiale in lavorazione o in deposito superiore a 500 kN		Tutti	Rispetto alla precedente attività si modifica la congiunzione del materiale in deposito o/o lavorazione da "o/o" a "o"
34	43 Depositi di carta, cartoni e prodotti cartotecnici nonché depositi per la cernita della carta usata, di stracci, di cascami e di fibre tessili per l'industria della carta con quantitativi superiori a 50 q.li	Depositi di carta, cartoni e prodotti cartotecnici, archivi di materiale cartaceo, biblioteche, depositi per la cernita della carta usata, di stracci di cascami e di fibre tessili per l'industria della carta, con quantitativi superiori a 50 kN.	Fino a 500 kN	Oltre 500 kN	Sono inseriti in modo esplicito, rispetto alla precedente attività, gli archivi e le biblioteche.

35	44 Stabilimenti ed impianti ove si producono, impiegano e/o detengono carte fotografiche, calcografiche, eliografiche e cianografiche, pellicole cinematografiche, radiografiche e fotografiche di sicurezza con materiale in deposito superiore a 100 q.li 45 Stabilimenti ed impianti ove si producono, impiegano e detengono pellicole cinematografiche e fotografiche con supporto infiammabile per quantitativi superiori a 5 kg	Stabilimenti, impianti, depositi ove si producono, impiegano e/o detengono carte fotografiche, calcografiche, eliografiche e cianografiche, pellicole cinematografiche; radiografiche e fotografiche con materiale in lavorazione e/o in deposito superiore a 50 kN		Depositi fino a 200 kN	Tutti	Rispetto alla precedente attività sono insenti i depositi. La soglia di assoggettabilità viene abbassata a 5 t, anche per criteri di omogeneità con l'attività precedente (34), in quanto è ragionevole che tutti gli stabilimenti abbiano almeno un deposito. Si accorpa anche la voce ex 45 relativa ai depositi di pellicole cinematografiche con supporto infiammabile, in considerazione che tali tipi di pellicole non sono più prodotte
37	46 Depositi di legnami da costruzione e da lavorazione, di legna da ardere, di paglia, di fieno, di canne, di fascine, di carbone vegetale e minerale, di carbonella, di sughero ed altri prodotti affini; esclusi i depositi all'aperto con distanze di sicurezza esterne non inferiori a 100 m misurate secondo le disposizioni di cui al punto 2.1 del decreto ministeriale 30 novembre 1983: da 500 a 1.000 q.li; superiori a 1.000 q.li. (Testo modificato con D.M. 30.10.1986)	Depositi di legnami da costruzione e da lavorazione, di legna da ardere, di paglia, di fieno, di canne, di fascine, di carbone vegetale e minerale, di carbonella, di sughero e di altri prodotti affini con quantitativi superiori a 500 kN con esclusione dei depositi all'aperto con distanze di sicurezza esterne superiori a 100 m		Fino a 5000 kN	oltre 5000 kN	È stato considerato implicito il riferimento al punto 2.1 del D.M. 30/11/1983 in considerazione che le premesse al D.P.R. faranno riferimento al predetto decreto.
38	47 - Stabilimenti e laboratori per la lavorazione del legno con materiale in lavorazione e/o in deposito: da 50 a 1.000 q.li superiori a 1.000 q.li	Stabilimenti e laboratori per la lavorazione del legno con materiale in lavorazione e/o in deposito superiore a 50 kN		Fino a 500 kN	Oltre 500 kN	
39	48 - Stabilimenti ed impianti ove si producono, lavorano e detengono fibre tessili e tessuti naturali e artificiali, tele cerate, linoeum ed altri prodotti affini con quantitativi: da 50 a 1.000 q.li. superiori a 1.000 q.li.	Stabilimenti ed impianti ove si producono, lavorano e/o detengono fibre tessili e tessuti naturali e artificiali, tele cerate, linoeum e altri prodotti affini, con quantitativi superiori a 50 kN		fino a 100 kN	Oltre 100 kN	
40	49 - Industrie dell'arredamento, dell'abbigliamento e della lavorazione della pelle, calzaturifici: da 25 a 75 addetti oltre 75 addetti	Stabilimenti per la produzione di arredi, di abbigliamento, della lavorazione della pelle e calzaturifici, con oltre 25 addetti.			Tutti	Rispetto alle precedenti attività il termine "industrie" è stato sostituito con "stabilimenti", per omogeneità con altre voci simberi

41	50 - Stabilimenti ed impianti per la preparazione del crine vegetale, delle fodine e simili, lavorazione della paglia, dello sparto e simili, lavorazione del sughero, con quantitativi in lavorazione o in deposito superiori a 50 q.li	Stabilimenti ed impianti per la preparazione del crine vegetale, delle fodine e simili, lavorazione della paglia, dello sparto e simili, lavorazione del sughero, con quantitativi in lavorazione o in deposito superiori a 50 kN			Tutti	
42	51 - Teatri di posa per le riprese cinematografiche e televisive	Teatri e studi per le riprese cinematografiche e televisive	fino a 25 persone presenti	oltre 25 e fino a 100 persone presenti	oltre 100 persone presenti	Eliminati i teatri di posa ed inseriti teatri e studi televisivi
	52 Stabilimenti per lo sviluppo e la stampa delle pellicole cinematografiche					Si elimina l'attività 52 del DM 16.2.1982 in quanto le nuove pellicole possiedono maggiori requisiti di sicurezza rispetto alle precedenti
43	53 - Laboratori di attrezzature e scenografie teatrali	Laboratori per la realizzazione di attrezzature e scenografie, compresi i relativi depositi, di superficie complessive superiore a 200 m ²		fino a 2000 m ²	oltre 2000 m ²	Nella nuova attività si inseriscono anche i depositi per caratterizzare in modo più compiuto i rischi dell'attività. Viene altresì eliminata la parola "teatrali" per comprendere i laboratori per la produzione di scenografie e cammolegna. Viene infine individuata la soglia minima di 200 m ²
44	64 Stabilimenti ed impianti per la produzione, lavorazione e rigenerazione della gomma con quantitativi superiori a 50 q.li 66 Depositi di prodotti della gomma, pneumatici e simili con oltre 100 q.li 66 Laboratori di vulcanizzazione di oggetti di gomma con più di 50 q.li in lavorazione o in deposito	Stabilimenti ed impianti per la produzione, lavorazione e rigenerazione della gomma e/o laboratori di vulcanizzazione di oggetti di gomma, con quantitativi superiori a 50 kN; depositi di prodotti della gomma, pneumatici e simili, con quantitativi superiori a 100 kN		depositi fino a 500 kN	Stabilimenti ed impianti per la produzione, lavorazione e rigenerazione e/o laboratori; depositi oltre 500 kN	Vengono accorpate le attività 64, 66 e 66, che sono omogenee ai fini della classificazione del rischio
45	67 Stabilimenti ed impianti per la produzione e lavorazione di materie plastiche con quantitativi superiori a 50 q.li 68 Depositi di manufatti in plastica con oltre 50 q.li	Stabilimenti, impianti, depositi ove si producono, lavorano e/o detengono materie plastiche, con quantitativi superiori a 50 kN		depositi fino a 500 kN	Stabilimenti ed impianti; depositi oltre 500 kN	Vengono accorpate le attività 67 e 68, omogenee ai fini del rischio. Nella nuova attività si modifica il termine "manufatti" con "materie" per comprendere anche le "materie prime" da cui si originano i manufatti.
46	69 - Stabilimenti ed impianti ove si producono e lavorano resine sintetiche e naturali, fitofarmaci, coloranti organici e intermedi e prodotti farmaceutici con l'impiego di solventi ed altri prodotti infiammabili	Stabilimenti ed impianti ove si producono e lavorano resine sintetiche e naturali, fitofarmaci, coloranti organici e intermedi e prodotti farmaceutici con l'impiego di solventi ed altri prodotti infiammabili		Fino a 25 addetti	Oltre 25 addetti	
47	80 - Depositi di concimi chimici a base di nitrati e fosfati e di fitofarmaci, con potenzialità globale superiore a 500 q.li	Depositi di fitofarmaci e/o di concimi chimici a base di nitrati e/o fosfati con quantitativi superiori a 500 kN		fino a 1000 kN	oltre 1000 kN	Nelle nuove attività viene chiarito il testo rispetto alle precedenti attività 80 in questo caso, infatti, si distinguono i depositi di concimi da quelli di fitofarmaci.
48	81 - Stabilimenti ed impianti per la fabbricazione di cavi e conduttori elettrici isolati 82 - Depositi e rivendite di cavi elettrici isolati con quantitativi superiori a 100 q.li	Stabilimenti ed impianti per la fabbricazione di cavi e conduttori elettrici isolati, con quantitativi in lavorazione e/o in deposito superiori a 100 kN, depositi e/o rivendite di cavi elettrici isolati con quantitativi superiori a 100 kN		fino a 1000 kN	oltre 1000 kN	Si accorpano le attività 81 e 82, omogenee per rischio. Si inserisce la soglia di 100 kN rendendola coerente con quella relativa allo stoccaggio di materiali presso i depositi e le rivendite

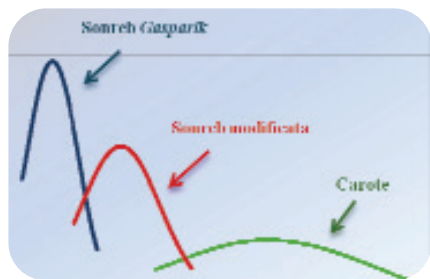
49	63 Centrali termoelettriche.	Centrali termoelettriche, impianti di trasformazione di energia elettrica con presenza di liquidi isolanti combustibili in quantitativi superiori a 0,5 mc		impianti di trasformazione di energia elettrica	Centrali termoelettriche,	Sono stati iscritti gli impianti di trasformazione a bagno d'olio
50	64 - Gruppi per la produzione di energia elettrica sussidiaria con motori endotermici di potenza complessiva superiore a 25 kW	Gruppi per la produzione di energia elettrica sussidiaria con motori endotermici ed impianti di cogenerazione di potenza complessiva superiore a 25 kW	fino a 350 kW	oltre 350 kW e fino a 700 kW	oltre 700 kW	In questa categoria vengono compresi gli impianti di cogenerazione
51	65 - Stabilimenti ed impianti ove si producono lampade elettriche, lampade a tubi luminescenti, pile ed accumulatori elettrici, valvole elettriche, ecc.	Stabilimenti ed impianti ove si producono lampade elettriche e simili, pile ed accumulatori elettrici e simili, con oltre 5 addetti		fino a 25 addetti	oltre 25 addetti	Rispetto all'attività 65, la nuova attività inserisce la soglia di 5 addetti. Non vengono inoltre più considerate le "lampade a tubi luminescenti" e le "valvole elettriche"
52	66 - Stabilimenti siderurgici e stabilimenti per la produzione di altri metalli 67 - Stabilimenti e impianti per la zincatura, ramatura e lavorazioni similari comportanti la fusione di metalli o altre sostanze	Stabilimenti siderurgici e per la produzione di altri metalli con oltre 5 addetti. attività comportanti lavorazioni a caldo di metalli con oltre 5 addetti.		fino a 25 addetti	oltre 25 addetti.	Si accorpano le attività di siderurgia e di lavorazione a caldo dei metalli, includendo, oltre ai processi di fusione dei metalli, tutte le lavorazioni a caldo con oltre 5 addetti (zincatura, ramatura e lavorazioni similari)
53	68 Stabilimenti per la costruzione di aeromobili, automobili e motocicli 69 Cantieri navali con oltre cinque addetti 70 Stabilimenti per la costruzione e riparazione di materiale rotabile ferroviario e tramviario con oltre cinque addetti 71 Stabilimenti per la costruzione di carrozzerie e rimorchi per autoveicoli con oltre cinque addetti	Stabilimenti, con oltre 5 addetti, per la costruzione di aeromobili, veicoli a motore, materiale rotabile ferroviario e tramviario, carrozzerie e rimorchi per autoveicoli; cantieri navali con oltre 5 addetti		fino a 25 addetti	oltre 25 addetti	Sono state accorpate le attività 68, 69, 70, 71, relative all'industria meccanica di costruzione di mezzi di trasporto stradale, aereo, marittimo e ferroviario. Per queste attività si definisce la soglia di 5 addetti. Le attività di manutenzione vengono invece riportate nell'attività del punto successivo (54)
54	72 Officine per la riparazione di autoveicoli con capienza superiore a 9 autoveicoli; officine meccaniche per lavorazioni a freddo con oltre venticinque addetti (solo la prima parte)	Officine per la riparazione di veicoli a motore, rimorchi per autoveicoli e carrozzerie, di superficie superiore a 200 m ² ; materiale rotabile ferroviario, tramviario e di aeromobili, di superficie superiore a 1000 m ² ;		a) officine per veicoli a motore, rimorchi per autoveicoli e carrozzerie, di superficie fino a 1000 m ² b) officine per materiale rotabile ferroviario, tramviario e di aeromobili, di superficie fino a 2000 m ²	c) officine per veicoli a motore, rimorchi per autoveicoli e carrozzerie, di superficie superiore a 1000 m ² d) officine per materiale rotabile ferroviario, tramviario e di aeromobili, di superficie superiore a 2000 m ²	Attività che accorpa la /2 e, in parte, relativamente alla manutenzione dei mezzi, anche le 68, /0 e /1. Nella nuova attività si è sostituita la soglia degli addetti, con il limite di superficie distinto per tipologia di mezzi. Nella dizione di veicoli a motore si è inteso comprendere anche le officine per la riparazione di motocicli e gli autobus. Il limite di superficie per le officine per la riparazione di veicoli a motore è stato portato a 200 mq per tenere conto delle aumentate dimensioni degli autoveicoli che richiedono maggiori superfici di parcheggio. I cantieri navali per la riparazione di mezzi navali continuano ad essere compresi nel punto precedente. La seconda parte dell'attività 72 è individuata nell'attività successiva
55	72 - Officine per la riparazione di autoveicoli con capienza superiore a 9 autoveicoli; officine meccaniche per lavorazioni a freddo con oltre venticinque addetti (solo la seconda parte)	Officine meccaniche per lavorazioni a freddo con oltre 25 addetti.		fino a 50 addetti	oltre 50 addetti	

56	-----	Attività di demolizioni di veicoli e simili con relativi depositi, di superficie superiore a 3000 m ²	Fino a 5000 m ²	Oltre 5000 m ²	Nuove attività non comprese nel DM 16.2.1962, il cui inserimento è dettato dall'esigenza di comprendere attività particolarmente esposte al rischio di incendi che spesso comportano difficoltose operazioni di spegnimento con rischio di infortunio per i soccorritori. Nel limite di soglia non si effettua distinzione tra superficie interna o scoperta.
57	73 - Stabilimenti ed impianti ove si producono laterizi, maioliche, porcellane e simili con oltre 25 addetti	Stabilimenti ed impianti ove si producono laterizi, maioliche, porcellane e simili con oltre 25 addetti	Fino a 50 addetti	oltre 50 addetti	
58	74 - Cementifici	Cementifici con oltre 25 addetti		tutti	Rispetto alla precedente attività si introduce il numero di addetti
59	76 - Istituti, laboratori, stabilimenti e reparti in cui si effettuano, anche saltuariamente, ricerche scientifiche o attività industriali per le quali si impiegano isotopi radioattivi, apparecchi contenenti dette sostanze ed apparecchi generatori di radiazioni ionizzanti (art. 13 della legge 31 dicembre 1962, n. 1860 e art. 102 del decreto del Presidente della Repubblica 13 febbraio 1964, n. 185) 76 - Esercizi commerciali con detenzione di sostanze radioattive (capo IV del decreto del Presidente della Repubblica 13 febbraio 1964, n. 185)	Pratiche di cui al d.lgs 230/95 s.m.i. soggette a provvedimento autorizzativi (art. 2/ del d.lgs 230/95 ed art. 13 legge 31 dicembre 1962, n. 1860).	Assoggettate a nulla osta di categoria U di cui all'art. 29 del d.lgs 230/95 s.m.i	Assoggettate a nulla osta di categoria A di cui all'art. 20 del d.lgs 230/95 s.m.i e art. 13 legge n. 1860/62	L'attività è aggiornata sulla base del DLgs 230/95. Nella nuova attività vengono incluse le pratiche di tipo sanitario. Il termine "pratiche" è adottato in quanto è dizione coerente con il DLgs 230/95
60	77 - Automezze di ditte in possesso di autorizzazione permanente al trasporto di matene fissili speciali e di matene radioattive (art. 5 della legge 31 dicembre 1962, n. 1860, sostituito dall'art. 2 del decreto del Presidente della Repubblica 30 dicembre 1965, n. 1704)	Automezze adibite al ricovero di mezzi utilizzati per il trasporto di matene fissili speciali e di matene radioattive (art. 5 della legge 31 dicembre 1962, n. 1860, sostituito dall'art. 2 del decreto del Presidente della Repubblica 30 dicembre 1965, n. 1704)		Tutti	La nuova attività tiene conto della presenza di automezze adibiti al trasporto di matene fissili speciali e di matene radioattive
61	78 - Impianti di deposito delle matene nucleari, escluso il deposito in corso di spedizione	Impianti di deposito delle matene nucleari ed attività assoggettate agli artt. 33 e 52 del decreto legislativo 17 marzo 1996, n. 230 e s.m.i, con esclusione dei depositi in corso di spedizione.		Tutti	L'attività è stata riformulata secondo le previsioni del decreto legislativo 230/96
62	79 - Impianti nei quali siano detenuti combustibili nucleari o prodotti radioattivi (art. 1, lettera b) della legge 31 dicembre 1962, n. 1860)	Impianti nei quali siano detenuti combustibili nucleari o prodotti radioattivi (art. 1, lettera b) della legge 31 dicembre 1962, n. 1860)		Tutti	

63	80 Impianti relativi all'impiego pacifico dell'energia nucleare ed attività che comportano pericoli di radiazioni ionizzanti derivanti dal predetto impiego: - impianti nucleari; - reattori nucleari, eccettuati quelli che facciano parte di un mezzo di trasporto; - impianti per la preparazione o fabbricazione delle materie nucleari; - impianti per la separazione degli isotopi; - impianti per il trattamento dei combustibili nucleari irradianti	Impianti relativi all'impiego pacifico dell'energia nucleare ed attività che comportano pericoli di radiazioni ionizzanti derivanti dal predetto impiego: - impianti nucleari; - reattori nucleari, eccettuati quelli che facciano parte di un mezzo di trasporto; - impianti per la preparazione o fabbricazione delle materie nucleari; - impianti per la separazione degli isotopi; - impianti per il trattamento dei combustibili nucleari irradianti; - attività di cui agli artt. 36 e 51 del decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230 e s.m.l.			Tutti	Nella nuova attività sono state aggiunte le attività di cui agli articoli 36 e 51 del decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230. Art. 36 Qualunque utilizzo di materie nucleari Art. 51 impianti di ricerca
64	81 Stabilimenti per la produzione di sapone, di candele e di altri oggetti di cera e di paraffina, di acidi grassi, di glicerina grezza quando non sia prodotta per idrolisi, di glicerina raffinata e distillata ed altri prodotti affini	Stabilimenti per la produzione, depositi di sapone, di candele e di altri oggetti di cera e di paraffina, di acidi grassi, di glicerina grezza quando non sia prodotta per idrolisi, di glicerina raffinata e distillata ed altri prodotti affini, con oltre 5 kN di prodotto in lavorazione e/o deposito.		fino a 50 kN	oltre 50 kN	Rispetto alla precedente attività è stata inserita la soglia di 5 kN di materiale in lavorazione e/o in deposito
65	82 - Centrali elettroniche per l'archiviazione e l'elaborazione di dati con oltre ventisei addetti	Centri informatici di elaborazione e/o archiviazione dati con oltre 25 addetti		fino a 50 addetti	oltre 50 addetti	La nuova attività individua i "centri informatici" anziché le "centrali elettroniche"
66	83 - I locali di spettacolo e di addebiamento in genere e di addebiamento in genere con capienza superiore a 100 posti	I locali di spettacolo e di addebiamento in genere, impianti e centri sportivi, palestre, sia a carattere pubblico che privato, con capienza superiore a 100 persone, ovvero di superficie lorda in pianta al chiuso superiore a 200 m ²		fino a 200 persone	oltre 200 persone	Le nuove attività specifiche che i locali soggetti sono sia i locali pubblici che privati. Viene inoltre introdotto il parametro della superficie per rendere oggettivo il parametro di sottogugliabilità. La voce viene suddivisa in due categorie individuate sulla base della capienza dei locali. I limiti vengono altresì individuati sulla base di quanto anche indicato dal DPR 311/2001
67	84 Alberghi, pensioni, motel, dormitori e simili con oltre 25 posti letto	Alberghi, pensioni, motel, villaggi albergo, residenze turistico alberghiere, studentati, villaggi turistici, alloggi agituristici, ostelli per la gioventù, rifugi alpini, bed & breakfast, dormitori, case per ferie, con oltre 25 posti letto; Campaggi di superficie lorda superiore a 3000 m ²	fino a 50 posti letto	oltre 50 posti letto fino a 100 posti letto; campaggi	Oltre 100 posti letto	Rispetto alla precedente definizione sono state esplicitate le attività che si intendono assoggettare al controllo dei Vigili del fuoco, facendo riferimento alla vigente legislazione nazionale e regionale
68	85 - Scuole di ogni ordine, grado e tipo, collegi, accademie e simili per oltre 100 persone presenti	Scuole di ogni ordine, grado e tipo, collegi, accademie con oltre 100 persone presenti; asili nido con oltre 30 persone presenti.	fino a 150 persone	oltre 150 e fino a 300 persone; asili nido	oltre 300 persone	Sono stati aggiunti gli asili nido con oltre 30 persone presenti, precedentemente non soggetti ai controlli di prevenzione incendi
69	86 - Ospedali, case di cura e simili con oltre 25 posti letto	Strutture sanitarie che erogano prestazioni in regime di ricovero ospedaliero o ambulatoriale a ciclo continuativo o a tempo, case di riposo per anziani con oltre 25 posti letto, strutture sanitarie che erogano prestazioni di assistenza specialistica in regime ambulatoriale, ivi compresa quella riabilitativa, di diagnostica strumentale e di laboratorio, di superficie complessiva superiore a 500 m ²	Fino a 50 posti letto Strutture riabilitative, di diagnostica strumentale e di laboratorio, fino a 1000 m ²	Strutture fino a 100 posti letto; Strutture riabilitative, di diagnostica strumentale e di laboratorio, oltre 1000 m ²	Oltre 100 posti letto	È stata riformulata la definizione della voce, alla luce del tempo di applicazione del D.P.R. 14/1/1997. È stata specificata l'assogugliabilità delle case di riposo per anziani, sono stati inseriti le strutture sanitarie che erogano prestazioni di assistenza specialistica in regime ambulatoriale di superficie superiore a 500 m ²

70	87 - Locali adibiti ad esposizione o/o vendita all'ingrosso o al dettaglio con superficie lorda superiore a 400 mq comprensiva dei servizi e depositi	Locali adibiti ad esposizione o/o vendita all'ingrosso o al dettaglio, fiere e quartieri fieristici, con superficie lorda superiore a 400 m ² comprensiva dei servizi e depositi.	fino a 600 m ²	oltre 600 e fino a 1500 m ²	Oltre 1500 m ²	
71	88 - Locali adibiti a depositi di merci e materiali van con superficie lorda superiore a 1.000 mq	Locali adibiti a depositi di superficie lorda superiore a 1000 m ² con quantitativi di merci e materiali combustibili superiori complessivamente a 50 kN		fino a 3000 m ²	Oltre 3000 m ²	È stato abbassato il limite a 800 m ² di superficie lorda, legando l'assoggettabilità ai materiali combustibili presenti
72	88 - Aziende ed uffici nei quali siano occupati oltre 500 addetti	Aziende ed uffici con oltre 300 persone presenti.	fino a 500 persone	oltre 500 e fino a 800 persone	Oltre 800 persone	Il limite è stato abbassato a 300 persone, considerando le effettive presenze e non solo gli addetti
73	90 - Edifici progettati per arte o storia e quelli destinati a contenere biblioteche, archivi, musei, gallerie, collezioni o comunque oggetti di interesse culturale sottoposti alla vigilanza dello Stato di cui al regio decreto 7 novembre 1942, n. 1884	Edifici sottoposti a tutela ai sensi del dlgs 22 gennaio 2004, n. 42, in cui sia insita almeno un'attività di cui si rammenta 88, 87, 88, 89, 70, 72, 34 del presente allegato, indipendentemente dal limite di assoggettabilità.	Fino al limite di assoggettabilità delle singole attività	Oltre il limite di assoggettabilità valgono gli adempimenti specifici previsti per le singole attività		È stato stabilito che l'edificio progettato viene assoggettabile ai controlli di prevenzione incendi solo se ed in quanto vengono svolte attività che, per tipologia, sono ritenute pericolose, indipendentemente dalla loro soglia di assoggettabilità
74	-----	Edifici o/o complessi edifici a uso terziario o/o industriale caratterizzati da promiscuità strutturale o/o dai sistemi delle vie di scalo o/o impiantistica con presenza di persone superiore a 500 unità, ovvero di superficie complessiva superiore a 5000 m ² , indipendentemente dal numero di attività costituenti e dalla relativa diversa finalità		Fino a 500 unità ovvero fino a 8000 m ²	Oltre 500 unità ovvero oltre 8000 m ²	Si introduce la nuova attività per comprendere complessi polifunzionali sia nel settore terziario che industriale, gestiti da più soggetti, ma che necessitano del coordinamento delle misure di prevenzione, protezione e di gestione antincendio
75	91 - Impianti per la produzione del calore alimentare a combustibile solido, liquido o gassoso con potenzialità superiore a 100.000 Kcal/h	Impianti per la produzione di calore alimentare a combustibile solido, liquido o gassoso con potenzialità superiore a 116 kW	Fino a 350 kW	oltre 350 kW e fino a 700 kW	Oltre 700 kW	
76	82 - Autonimesse private con più di 8 autoveicoli, autonimesse pubbliche, ricovero natanti, ricovero aeromobili	Autonimesse pubbliche e private, parcheggi pluripiano e meccanizzati di superficie complessiva superiore a 200 m ² ; locali adibiti al ricovero di natanti ed aeromobili di superficie superiore a 500 m ² ; depositi di mezzi rotabili al chiuso (treni, tram ecc.) di superficie superiore a 1000 m ² .	Autonimesse, fino a 1000 m ²	Autonimesse oltre 1000 m ² e fino a 3000 m ² ; ricovero di natanti ed aeromobili oltre 500 m ² e fino a 1000 m ²	Autonimesse oltre 3000 m ² ; ricovero di natanti ed aeromobili di superficie oltre i 1000 m ² ; depositi di mezzi rotabili	Il limite di assoggettabilità è stato legato alla superficie, più oggettivo rispetto alla dichiarazione sul numero di veicoli e per tener conto della presenza di motocicli, autobus, etc. È stato inserito il deposito di mezzi rotabili
77	93 - Tipografie, litografie, stampe in offset ed attività simili con oltre cinque addetti	Tipografie, litografie, stampe in offset ed attività simili con oltre cinque addetti.		fino a 50 addetti	Oltre 50 addetti	

76	84 - Edifici destinati a civile abitazione con altezza in gronda superiore a 24 metri	Edifici destinati ad uso civile, in gronda superiore a 24 m	fino a 32 m	oltre 32 m e fino a 34 m	oltre 34 m	L'assoggettabilità è stata ritenuta a tutte le attività ad uso civile e non più agli edifici di civile abitazione;
-	95 - Venti di secorsoni e montacarichi in servizio privato, aventi corsa sopra il piano terreno maggiore di 20 metri, installati in edifici civili aventi altezza in gronda maggiore di 24 metri e quelli installati in edifici industriali di cui all'art. 9 del decreto del Presidente della Repubblica 28 maggio 1963, n. 1487					L'attività è stata eliminata dall'elenco in quanto considerata un elemento costruttivo, da valutare nell'ambito della specifica attività soggetta.
79	-----	Aeroporti, stazioni ferroviarie, stazioni marittime, con superficie coperta accessibile al pubblico superiore a 5000 m ² , metropolitane in tutto o in parte sotterranee			Tutti	È stata inserita come nuova attività per prendere in considerazione la tendenza alla riqualificazione delle grandi stazioni in centri polifunzionali
80	-----	Interporti con superficie superiore a 20.000 m ²			Tutti	
81		Gallieie stradali di lunghezza superiore a 600 m e ferroviarie superiori a 1000 m	Tutte			



AFFIDABILITÀ DELLE PROVE NON DISTRUTTIVE NELLE INDAGINI SPERIMENTALI SUI CALCESTRUZZI

N. Buono

Ingegnere

A. de Majo

M. Fulgione

Ingegneri Dottori di Ricerca
in Ingegneria delle Costruzioni

“ Nel caso in esame, per ottenere una formulazione idonea all'applicazione sui reperti, occorrerebbe approfondire le indagini al fine di modificare tutti i coefficienti presenti nella correlazione SonReb ”

Attività di ricerca del gruppo di studio coordinato e coadiuvato dal Prof. Ing. Mario Pasquino svolta presso il Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Facoltà di Ingegneria, Università di Napoli Federico II.

INTRODUZIONE

Il presente lavoro suggerisce alcune riflessioni in merito alla elaborazione dei risultati di prove sperimentali effettuate a seguito del crollo parziale di un fabbricato con struttura portante in cemento armato. Al fine di individuare le più probabili cause del crollo sono state svolte indagini, di tipo distruttivo e non, per la determinazione delle proprietà meccaniche dei materiali impiegati nella realizzazione degli elementi strutturali interessati dalla rovina.

Nel caso in esame, la scelta di campionamento è stata condizionata dalla esigenza di non minare la sicurezza degli elementi strutturali rimasti integri; su questi ultimi si è infatti indagato solo con metodi di prova di tipo non distruttivo. Sulla base della consistente quantità di dati raccolti, si è proceduto a suddividere ed elaborare i risultati ottenuti dalle prove eseguite su elementi strutturali interessati dal crollo ed elementi integri.

Questo approccio ha consentito di evidenziare le differenze nei processi di stima delle resistenze dei materiali appartenenti a elementi strutturali integri o dissestati e di individuare la correlazione tra i risultati derivanti dalle diverse tipologie di prova.

1. PREMESSA

Sulla base dei risultati di indagini sperimentali nella presente nota si è proceduto a verificare l'attendibilità dei valori delle resistenze del calcestruzzo ottenuti dall'applicazione delle correlazioni SonReb presenti in letteratura.

Il fabbricato, caratterizzato da una struttura portante costituita da una intelaiatura di travi e pilastri realizzati in calcestruzzo cementizio armato, è costituito da otto livelli: il primo presenta un fronte libero ed il restante perimetro parzialmente interrato, i restanti sono completamente fuori terra. Nei giorni precedenti la rovina, che interessava una porzione dell'intera colonna del fabbricato servita da una delle due scale, erano in corso i lavori di manutenzione ordinaria e straordinaria nel locale al piano terra/seminterrato, adibito ad autorimessa, finalizzati alla realizzazione di box auto indipendenti. Procedendo alla rimozione dei rivestimenti, dei vecchi intonaci e del copriferro di alcuni pilastri, si riscontrava un cattivo stato degli stessi. Erano, quindi stati proposti interventi di risanamento statico. Durante la fase preliminare all'esecuzione degli interventi di consolidamento previsti, avveniva l'inizio dello schiacciamento di due pilastri; in par-

ticolare, si manifestava l'instabilità delle armature longitudinali e la progressiva fessurazione del conglomerato cementizio.

Tali sintomi, inequivocabili, inducevano alla sgombero immediato del fabbricato che crollava solo pochi minuti dopo la completa evacuazione.

2. LE INDAGINI SPERIMENTALI

Nel corso delle operazioni di rilievo si procedeva ad eseguire una serie di prove, distruttive e non, sia sulle rovine che sulle parti della struttura non interessate dal crollo per determinare le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo con cui era stato edificato il fabbricato in esame. Si effettuavano, quindi, una serie di prelievi di campioni cilindrici, mediante carotaggio, eseguiti solo su elementi della struttura interessati dal crollo (reperti), al fine di eseguire prove di schiacciamento monoassiale. Sui medesimi elementi venivano poi eseguite alcune prove semi-distruttive (Pull-out test e Windsor) ed altre non distruttive (sclerometro ed ultrasuoni), parimenti mirate alla determinazione della resistenza del calcestruzzo. Al fine di raccogliere ulteriori dati, si decideva di indagare anche gli elementi della struttura non coinvolti dai fenomeni di crollo, procedendo unicamente all'esecuzione di una serie di prove semi-distruttive e non distruttive per non incidere sulla resistenza residua degli stessi.

2.1. Prove sui reperti: indagini distruttive e semi-distruttive

Dopo un attento lavoro di recupero e catalogazione delle parti della struttura interessate dal crollo, si è proceduto preliminarmente al prelievo di carote da sottoporre in laboratorio a prove di compressione monoassiale. Sono state estratte complessivamente 35 carote cilindriche che è possibile suddividere in tre gruppi

- 21 carote estratte da monconi di pilastri ancora *in situ*;
- 6 carote estratte da parti di pilastri recuperati tra le macerie;
- 8 carote estratte da parti di travi recuperati fra le macerie.

Le resistenze misurate in laboratorio ($f_{CAR,i}$) hanno risentito, come è noto, di numerosi fattori che le differenziano da quelle del calcestruzzo *in situ* ($f_{CIS,i}$). Tra questi si evidenziano le dimensioni delle carote e in particolare il relativo diametro, il disturbo conseguente alle operazioni di prelievo e l'eventuale presenza di armature incluse; tutti fattori che tendono alla sottostima della resistenza stessa.

Per trasformare la resistenza $f_{CAR,i}$ nella corrispondente resistenza $f_{CIS,i}$ si è fatto ricorso ad opportuni coefficienti correttivi adoperando la seguente relazione:

$$f_{CIS,i} = (C_{h/D} \times C_{dia} \times C_a \times C_d) f_{CAR,i}$$

Dove:

- $C_{h/D}$ è il coefficiente correttivo per rapporti h/D diversi da 2, pari a $2/(1.5 + D/h)$;
- C_{dia} è il coefficiente correttivo relativo al diametro, da assumere pari a 1.06, 1.00 e 0.98 per D pari, rispettivamente, a 50, 100 e 150 mm;
- C_a è il coefficiente correttivo relativo alla presenza di armature incluse, da assumere pari a 1.02-1.13 in funzione della posizione e del diametro della barra inclusa;
- C_d è il coefficiente correttivo per tener conto del disturbo arrecato alla carota nelle operazioni di estrazione.

Ottenuti i valori delle resistenze cilindriche per ciascuna delle carote estratte, si è proceduto a ricavare le corrispondenti resistenze cubiche R_C . In letteratura sono presenti diverse relazioni attendibili e nel caso in esame le resistenze cubiche sono state calcolate dividendo i valori delle resistenze cilindriche $f_{CIS,i}$ per un coefficiente pari a 0,83:

$$R_C = f_{CIS,i} / 0,83$$

Infine, per rendere immediatamente confrontabili i dati desunti dalle prove sulle carote con quelli acquisiti dalle altre indagini, sono stati calcolati i

valori medi delle resistenze cubiche $R_{cm,car}$ per ogni gruppo di carote estratte dallo stesso elemento strutturale.

Sui medesimi elementi si è proceduto all'esecuzione di prove semi-distruttive. In particolare sono state eseguite la prova Pull-out che permette di determinare la forza necessaria ad estrarre dal calcestruzzo tasselli standardizzati e la prova Windsor con la quale si misura la profondità di penetrazione di una sonda metallica infissa nel materiale in esame. Le misure ottenute da entrambe le prove me-

diate opportune formule di correlazione, caratteristiche degli specifici macchinari utilizzati, consentono di determinare la resistenza a compressione del calcestruzzo.

Per ciascuno dei reperti interessati dalle prove sopra descritte, si riportano le resistenze cilindriche delle carote estratte con le relative resistenze cubiche medie, nonché i valori delle resistenze cubiche ottenuti con le prove semi-distruttive (Tabella 1).

In funzione dei dati raccolti, di seguito si riporta un diagramma nel quale vengono confrontate le distribuzioni

Elementi	numero carota	Resistenze cilindriche		Resistenza cubica	Resistenza cubica media	Resistenza cubica media	Resistenza cubica media
		f_{cm} [MPa]	f_{ctd} [MPa]				
Pilastro P1 (moncone)	1	22,30	24,90	30,00	28,36	25,13	13,81
	2	18,20	22,17	26,71			
Pilastro P2 (moncone)	3	19,00	24,12	29,06	22,88	18,53	13,24
	4	13,60	16,24	19,57			
	5	17,50	16,60	20,00			
Pilastro P3 (moncone)	6	21,90	22,25	32,03	30,20	21,61	24,53
	7	20,50	22,89	27,50			
Pilastro P4 (moncone)	8	24,40	27,25	32,83	28,37	33,11	23,19
	9	16,90	20,18	24,31			
Pilastro P5 (moncone)	10	21,30	22,14	32,70	28,03	15,09	16,30
	11	17,00	20,71	24,95			
Pilastro P6 (moncone)	12	27,30	30,49	36,73	36,79	22,93	17,17
	13	25,90	28,92	34,84			
Pilastro P7 (moncone)	14	18,40	22,42	27,01	25,40	18,53	17,49
	15	16,20	19,74	23,70			
Pilastro P8 (moncone)	16	13,10	15,96	19,23	18,93	16,77	13,41
	17	12,70	15,47	18,64			
Pilastro P9 (moncone)	18	34,10	32,92	45,75	33,66	29,97	12,39
	19	15,40	17,91	21,58			
Pilastro P14 (moncone)	20	31,60	35,29	42,52	48,84	31,29	21,46
	21	41,00	45,79	55,17			
Reperto 63 (pilastro)	22	17,20	20,95	25,24	27,01	18,53	14,88
	23	19,60	23,88	28,77			
Reperto 64 (pilastro)	24	12,30	14,98	18,05	19,89	21,61	17,82
	25	15,10	18,03	21,72			
Reperto 67 (pilastro)	26	13,30	16,20	19,52	19,30	20,73	15,27
	27	13,10	15,84	19,08			
Reperto 65 (trave)	28	12,00	14,62	17,61	17,05	19,05	15,09
	29	15,70	15,01	18,08			
Reperto 55 (trave)	30	25,40	22,08	26,61	24,61	22,93	6,87
	31	15,40	18,76	22,60			
Reperto 56 (trave)	32	14,50	17,66	21,20	18,33	15,01	6,70
	33	10,70	12,77	15,39			
Reperto 58 (trave)	34	16,00	19,49	23,48	25,46	23,81	22,11
	35	26,20	22,78	27,45			

Tabella 1. Risultati delle prove distruttive e semi distruttive effettuate sui reperti.

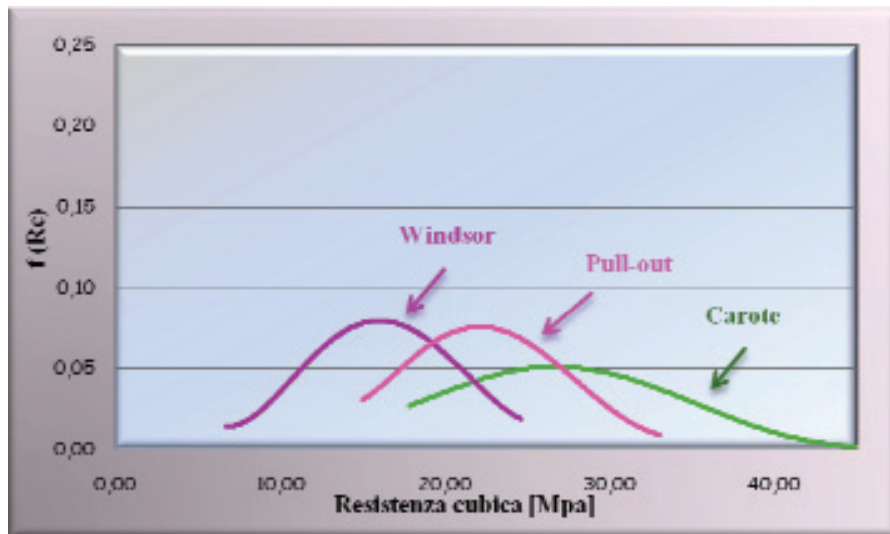


Figura 1. Distribuzioni normali dei risultati delle prove distruttive e semi-distruttive sui reperti.

normali delle resistenze cubiche relative alle prove eseguite (Figura 1). Dall'esame del grafico emerge chiaramente che le distribuzioni normali sono caratterizzate da valori medi sensibilmente differenti; le deviazioni standard relative alle prove semi-distruttive sono pressoché coincidenti mentre la dispersione dei dati ottenuti con la prova distruttiva è maggiore.

2.2. Prove sui reperti: indagini non distruttive

Su alcuni degli elementi interessati dal crollo che sono stati scelti per le indagini distruttive e semi-distruttive sono state eseguite anche indagini non distruttive; in particolare, considerando le varie tipologie di elementi, sono stati sottoposti alle prove:

- 4 monconi di pilastri ancora *in situ*;
- 2 reperti di pilastri recuperati tra le macerie;
- 4 reperti di travi recuperate tra le macerie.

È stata eseguita la prova sclerometrica, che ha permesso di valutare la durezza superficiale del calcestruzzo mediante la misurazione dell'indice di rimbalzo I_m di una massa battente in acciaio e la prova ultrasonica, che ha consentito di rilevare la velocità di propagazione V_m delle onde emesse attraverso il materiale in esame. Anche in questo caso mediante apposite formule di correlazione è pos-

sibile risalire alla resistenza a compressione. Nei diagrammi che seguono si evidenzia lo scarso grado di correlazione ($R^2= 0,1744$ e $R^2= 0,0046$) tra i valori medi delle misure registrate con le prove non distruttive (I_m e V_m) ed i valori delle resistenze cubiche derivate dalle indagini sulle carote $R_{cm,car}$ (Figure 2 e 3). Tale fenomeno, che risulta particolarmente evidente nel grafico che mostra i risultati ottenuti in termini di velocità delle onde ultrasoniche, può ragionevolmente trovare una giustificazione nel disturbo subito dagli elementi coinvolti dal disastro. Gli urti connessi al crollo hanno contribuito ad amplificare la discontinuità della matrice solida del calcestruzzo con la creazione di micro-fratture all'interno del materiale che influiscono sensibilmente sui valori di velocità delle onde degli ultrasuoni e sulla loro dispersione. Allo stesso modo è stata influenzata la resistenza superficiale del conglomerato in esame, che ha contribuito a determinare valori dell'indice di rimbalzo piuttosto variabili. Sulla base delle considerazioni esposte, per ottenere comunque alcune indicazioni dai dati rilevati con le prove non distruttive, si è proceduto alla determinazione dei valori della resistenza del calcestruzzo attraverso l'applicazione del metodo combinato SonReb. Correlando i valori medi degli indici di rimbalzo e delle

Figura 2. Correlazione I_m e $R_{cm,car}$

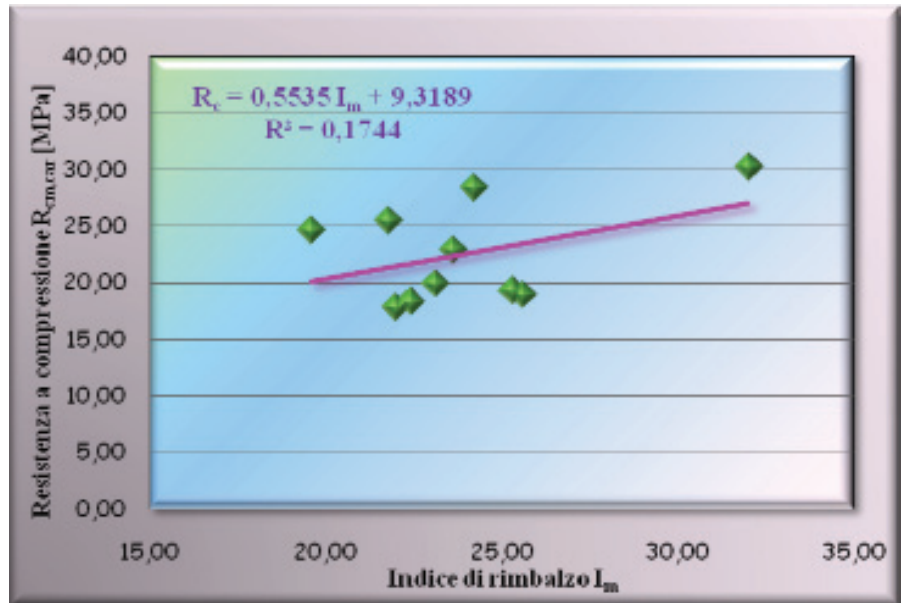
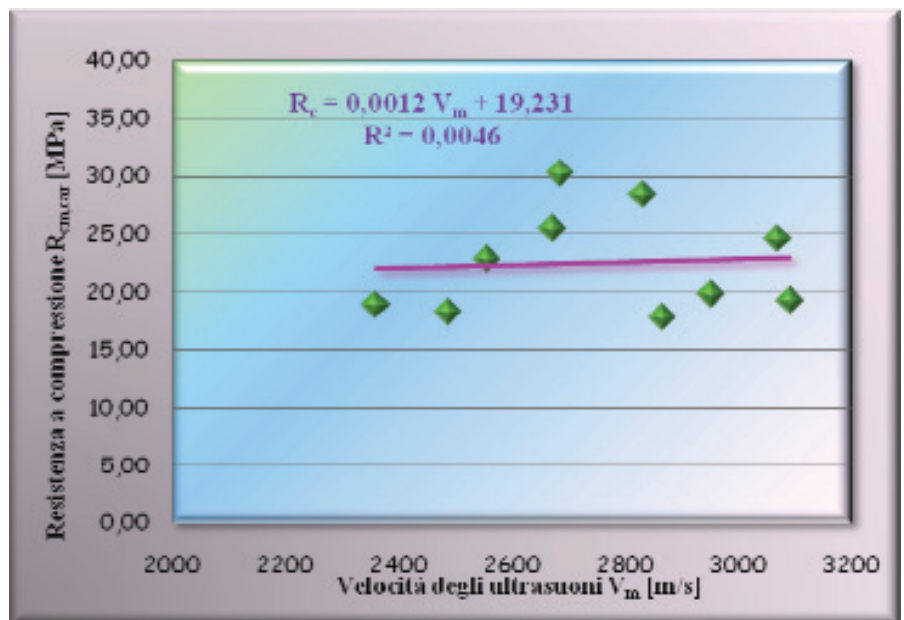


Figura 3. Correlazione V_m e $R_{cm,car}$



velocità degli ultrasuoni è possibile ricavare un valore una della resistenza cubica del materiale più attendibile.

In letteratura esistono alcune formule di correlazione, di cui le più utilizzate sono:

$$R_{S1} = 1,2 * 10^{-9} * I_m^{1,058} * V_m^{2,446} \quad \text{Pascale e Di Leo, 1994;}$$

$$R_{S2} = 9,27 * 10^{-11} * I_m^{1,4} * V_m^{2,6} \quad \text{Rilem, 1993;}$$

$$R_{S3} = 8,06 * 10^{-8} * I_m^{1,246} * V_m^{1,85} \quad \text{Gasparik, 1992.}$$

Nella Tabella 2 si riportano i valori degli indici sclerometrici, delle velocità di propagazione delle onde e le singole resistenze ottenute applicando ciascuna correlazione ai dati disponibili.

Elementi	Indice sclerometrico I_m	Velocità media di propagazione V_m [m/s]	Sonreb 1 R_{s1} [Mpa]	Sonreb 2 R_{s2} [Mpa]	Sonreb 3 R_{s3} [Mpa]
Pilastro P1 (moncone)	24,20	2829	9,68	7,56	10,38
Pilastro P2 (moncone)	23,60	2554	7,34	5,60	8,32
Pilastro P3 (moncone)	32,00	2683	11,43	9,74	13,33
Pilastro P8 (moncone)	25,60	2359	6,59	5,10	7,95
Repetto 64 (pilastro)	23,10	2949	10,20	7,89	10,58
Repetto 67 (pilastro)	25,30	3089	12,58	10,12	12,91
Repetto 45 (trave)	22,00	2864	9,02	6,83	9,43
Repetto 55 (trave)	19,60	3067	9,44	6,95	9,27
Repetto 56 (trave)	22,40	2485	6,50	4,84	7,41
Repetto 58 (trave)	21,80	2670	7,53	5,62	8,19

Tabella 2. Indici sclerometrici, velocità di propagazione e resistenze calcolate con le correlazioni SonReb.

Nel grafico precedente aggiungiamo, quindi, le distribuzioni normali delle resistenze cubiche calcolate applicando le diverse correlazioni SonReb (Figura 4).

È opportuno evidenziare che i valori di resistenza ricavati con la prova di compressione monoassiale, così come confermato dalla pratica tecnica e dalla linee guida della Normativa vigente, sono sempre ritenuti i più attendibili.

Nel grafico è possibile notare che tutte le indagini tendono a sottostimare la resistenza rispetto a quella ottenuta sulle carote. La prova Pull-out offre valori che si discostano poco dai valori $R_{cm,car}$ confermando una migliore attendibilità rispetto alle altre prove.

Le curve relative sia alla prova distruttiva che quelle semi-distruttive sono caratterizzate da deviazioni standard piuttosto alte; le curve relative all'elaborazione con il metodo SonReb sono caratterizzate, invece, da deviazioni standard minori, presentandosi molto strette, e forniscono valori di resistenza che si discostano di gran lunga dalle resistenze a compressione calcolate sui provini.

In definitiva, l'elevata incertezza dei risultati ottenuti non consente di procedere ad una stima attendibile del valore della resistenza del calcestruzzo indagato. In particolare le prove non distruttive hanno fornito informazioni poco significative e non hanno mostrato alcuna validità.

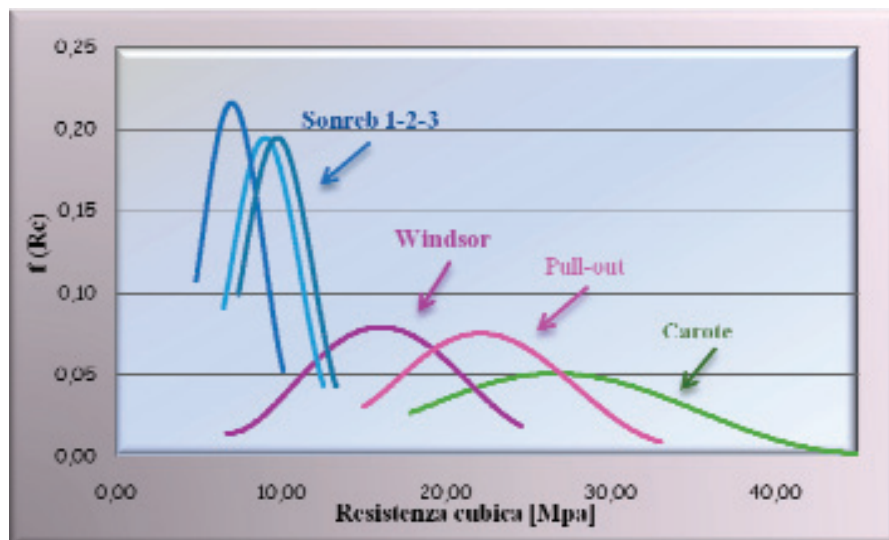


Figura 4. Distribuzioni normali delle resistenze cubiche calcolate con le correlazioni SonReb di letteratura.

2.3. Prove su elementi integri: indagini semi-distruttive e non distruttive

Alla luce dei controversi risultati ottenuti con le indagini sperimentali svolte sui reperti, si è ritenuto opportuno estendere le indagini ad alcuni elementi della struttura non coinvolti dal crollo, procedendo ad una campagna di prove semi-distruttive e non distruttive. Nella Tabella 3 si riportano i valori medi delle resistenza cubica ottenuti dalle prove di Pull-out e Windsor eseguite su 16 pilastri della strut-

tura del fabbricato non interessati dal crollo. Si riportano, inoltre, i valori medi degli indici di rimbalzo, delle velocità delle onde ultrasoniche e delle resistenze cubiche calcolate con le formulazioni SonReb indicate in precedenza.

Di seguito si riporta un grafico con le distribuzioni normali dei dati ottenuti con le diverse prove (Figura 5). Le curve relative alle prove Pull-out e Windsor individuano un valor medio più o meno coincidente, in particolare i dati relativi alla prova pene-

Tabella 3. Valori delle resistenze cubiche ricavate con prove semi-distruttive e non distruttive su elementi integri.

Elementi	Resistenza cubica media pull-out	Resistenza cubica media Windsor	Indice sismometrico	Velocità media di propagazione	Sonreb 1	Sonreb 2	Sonreb 3
	$R_{c,po}$ [Mpa]	$R_{c,ws}$ [Mpa]	I_{sm}	V_m [m/s]	R_{c1} [Mpa]	R_{c2} [Mpa]	R_{c3} [Mpa]
Pilastro P10	17,71	15,50	23,70	1796	3,05	7,19	4,75
Pilastro P11	30,41	14,49	35,60	2695	12,93	11,44	15,35
Pilastro P12	27,33	18,67	28,60	2164	6,80	4,76	7,78
Pilastro P15	30,85	21,30	32,00	3193	21,79	19,35	21,71
Pilastro P16	27,33	22,82	31,00	3017	14,73	12,64	15,01
Pilastro P17	30,41	21,79	36,20	3265	21,05	19,29	22,31
Pilastro P18	28,21	21,42	29,30	3146	15,37	13,03	16,03
Pilastro P20	29,09	30,95	43,90	3722	35,57	35,50	36,21
Pilastro P22	31,78	33,11	33,50	3352	20,68	18,53	21,30
Pilastro P25	32,70	35,48	37,60	3516	22,76	21,18	24,31
Pilastro P37	33,63	37,86	36,90	3551	26,38	24,65	26,73
Pilastro P41	34,56	40,23	35,00	3210	19,40	17,61	20,76
Pilastro P42	25,13	21,73	25,60	3193	13,82	11,21	13,92
Pilastro P43	19,85	19,72	28,40	3356	17,42	14,75	17,38
Pilastro P44	22,49	18,78	26,20	2934	10,58	8,49	11,49
Pilastro P45	29,97	27,30	29,60	3059	14,51	12,29	15,41

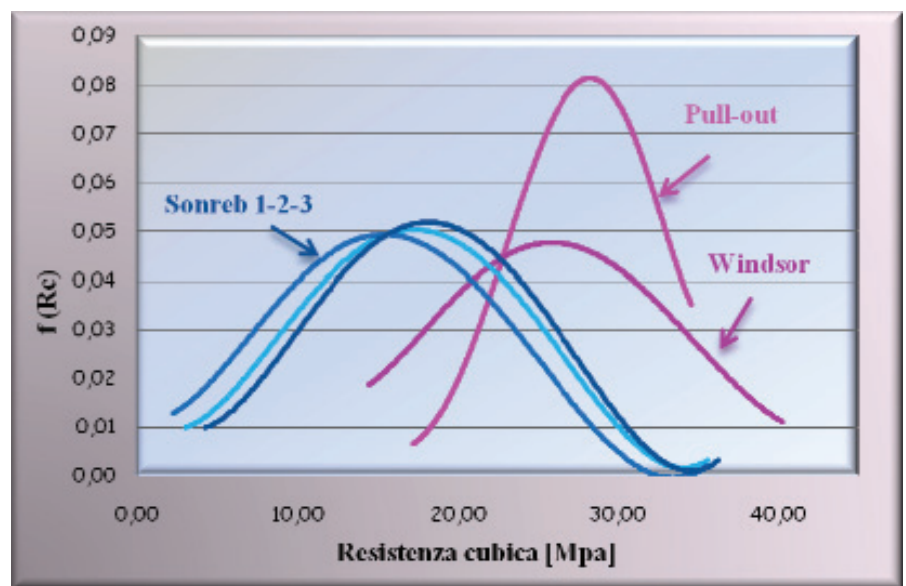


Figura 5. Distribuzioni normali dei dati ottenuti con le singole prove sugli elementi integri.

tromentrica sono caratterizzati da una maggiore dispersione. Il metodo SonReb, anche nelle indagini sugli elementi integri, ha fornito valori di resistenza più bassi rispetto a quelli ottenuti con le prove semidistruttive e caratterizzati da un'elevata dispersione.

Si evidenzia inoltre che i valori ottenuti con la prova Pull-out, eseguita sugli elementi integri, sono sostanzialmente coincidenti con i risultati derivati dalle prove sulle carote estratte dai reperti (Figura 6): tra essi si può

evidenziare un buon grado di correlazione come evidenziato nel seguente grafico, nel quale sono stati confrontati 16 valori di resistenza $R_{cm,car}$ relative alle carote, scartando il valore più alto, con i 16 valori di resistenza $R_{c,po}$ relativi agli elementi integri (Figura 7).

Per questo motivo i risultati ottenuti con la prova Pull-out sugli elementi integri possono considerarsi attendibili e costituiscono un buon riferimento per valutare l'affidabilità delle prove non distruttive.

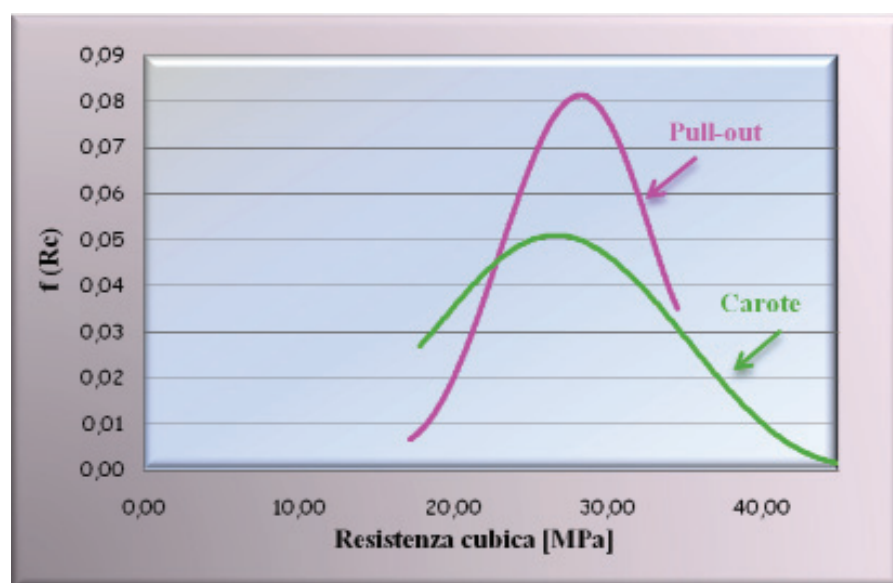


Figura 6. Confronto dati ottenuti con la prova pull-out sugli elementi integri e con le prove distruttive sui reperti.

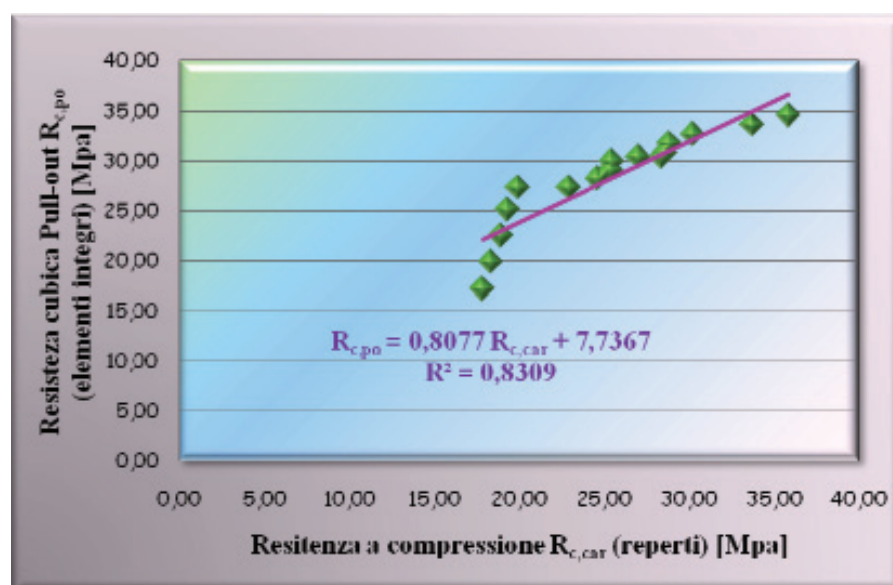


Figura 7. Correlazione $R_{cm,car}$ e $R_{c,po}$.

3. ELABORAZIONE DEI RISULTATI DELLE PROVE NON DISTRUTTIVE

Sia nel caso degli elementi interessati dal crollo che quelli integri è stata verificata una scarsa affidabilità delle prove non distruttive, in particolare dei valori di resistenza dei calcestruzzi derivati dall'applicazione delle formulazioni SonReb disponibili in letteratura. Esse hanno condotto ad una valutazione della resistenza sottostimandola di circa il 60% rispetto ai valori ottenuti sulle carote nel caso dei reperti e di circa il 35% rispetto ai valori ottenuti con la prova Pull-out nel caso dei elementi integri.

L'importanza della validità dei risultati derivati dalle prove non invasive è legata alle indicazioni della normativa riguardante la verifica di sicurezza degli edifici esistenti, che prevede la possibilità di ridurre fino al 50% il prelievo delle carote dagli elementi strutturali per la determinazione della resistenza del calcestruzzo indagato purché sia effettuata un'accurata indagine di controlli non distruttivi.

Analogamente a quanto fatto in altri studi si propone di tarare una delle correlazioni SonReb sui dati disponibili, ricordando che esse hanno fornito valori pressoché coincidenti si è deciso di procedere con la formula di *Gasparik*:

$$R_{S3} = 8,06 * 10^{-8} * I_m^{1,246} * V_m^{1,85}$$

che in termini simbolici può essere scritta:

$$R_S = a * I_m^b * V_m^c$$

Imponendo l'uguaglianza tra il valor medio delle resistenze ottenute dalla correlazione SonReb e il valore medio delle resistenze ricavato dalla prova di Pull-out sugli elementi integri:

$$\frac{\sum_{i=1}^n R_{ci,pu}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (a' \cdot I_{m,i}^b \cdot V_{m,i}^c)}{n}$$

Nella precedente equazione l'unica incognita è il coefficiente a' mentre i coefficienti b e c continueranno ad essere quelli della relazione SonReb considerata. Il nuovo coefficiente è $a' = 1,25 * 10^{-7}$, si ottiene così la nuova correlazione SonReb modificata, calibrata per il caso in esame:

$$R_{Sp} = 1.25 * 10^{-7} * I_m^{1,246} * V_m^{1,85}$$

Applicando quest'ultima per il calcolo delle resistenze degli elementi integri si sono avuti valori di resistenza caratterizzati da una grande dispersione, si propone il seguente grafico per una visione del risultato (Figura 8).

Per valutare l'affidabilità della formulazione SonReb modificata si è proceduto ad una sua applicazione utilizzando i valori degli indici sclerometrici e delle velocità ultrasoniche ottenuti con misurazioni effettuate sui reperti. Si riportano in un unico diagramma le distribuzioni normali delle resistenze cubiche ottenute dalle prove di compressione monoassiale unitamente dalle correlazioni SonReb di letteratura e dalla SonReb modificata (Figura 9).

Come si evidenzia dalla lettura del diagramma pur ottenendo una parziale correzione del valore medio delle resistenze cubiche rispetto a quelli forniti dalle SonReb di letteratura, permane un consistente scostamento rispetto ai valori di resistenza ottenuti dalle prove di compressione monoassiale.

4. CONCLUSIONI

Il confronto dei valori di resistenza cubica del calcestruzzo ottenuti con metodologie di indagine semi-distruttive e non distruttive, eseguite su elementi inte-

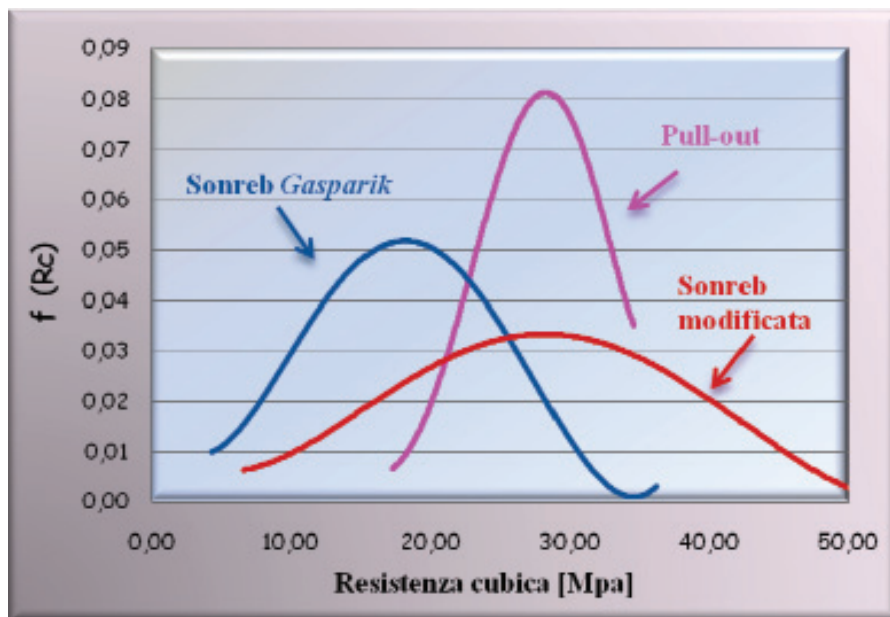


Figura 8. Confronto fra le distribuzioni normali Pull-out, SonReb *Gasparik* e SonReb sperimentale.

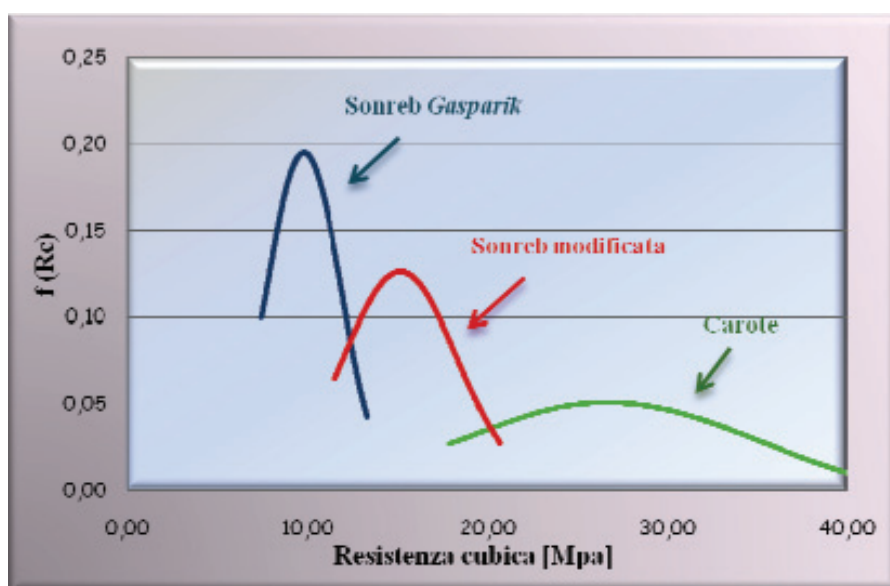


Figura 9. Confronto delle distribuzioni normali delle resistenze cubiche dei reperti.

gri della struttura, hanno evidenziato la necessità di introdurre un coefficiente lineare per correggere i risultati del metodo combinato SonReb. Tale operazione ha consentito di ottenere valori delle resistenze confrontabili con quelli derivanti dalle prove di Pull-out eseguite sui medesimi elementi. La formulazione della correlazione SonReb modificata, ottenuta in base ai risultati delle prove eseguite su elementi integri, è stata testata sui valori delle misure ricavati dalle indagini non distruttive eseguite sui re-

perti del crollo. Si è proceduto quindi a confrontare la distribuzione normale delle resistenze cubiche, ottenute con le prove di compressione monoassiale, con le corrispondenti distribuzioni derivate dall'applicazione sia dei metodi combinati SonReb disponibili in letteratura che della correlazione SonReb sperimentale. In tal modo si è evidenziato da un lato la parziale correzione dei risultati derivati dalle formulazioni SonReb di letteratura dall'altro il permanere di significativi scostamenti dei valori ottenuti

con la correlazione SonReb sperimentale rispetto ai risultati più attendibili derivati dalle prove distruttive eseguite. Pertanto, nel caso in esame, per ottenere una formulazione idonea all'applicazione sui reperti, occorrerebbe approfondire le indagini al fine di modificare tutti i coefficienti presenti nella correlazione SonReb tenere in conto correttamente del decadimento delle caratteristiche meccaniche dei calcestruzzi a seguito delle perturbazioni dovute al crollo.

BIBLIOGRAFIA

Augenti N., Clemente P.: Dynamic Characterization Test of the New Law Court in Naples, Journal of Performance of Constructed Facilities, ASCE, Vol. 23, No. 1, Reston, USA, 2009, pp. 15-19.

Ang A.H-S, Tang W.H.: *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*, J. Wiley & Sons, 1975;

Box, G., Tiao, G.: *Bayesian Inference in Statistical Analysis*, John Wiley and Sons Inc, 1992;

Consiglio superiore LL.PP.: *Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strut-*

turale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive, Febbraio 2008;

Rackwitz, R.: *Predictive Distribution of Strength under Control*, Material & Structures, pp.259-267, 1983;

Rackwitz R.: *Reliability analysis: a review and some prospectives*, Structural Safety, 2001;

RILEM: *NDT4 Recommendations for in situ concrete strength determination by combined non-destructive methods*, E&FN Spon, London, 1993;

Verderame, G.M., Manfredi, G., Frunzio G.: *Le proprietà meccaniche dei calcestruzzi impiegati nelle strutture in cemento armato realizzate negli anni '60*, X Congresso Nazionale "L'ingegneria sismica in Italia", Potenza-Matera 9-13 Settembre 2001;

Augenti N.: *Consulenza tecnica dei periti al crollo verificatosi il 25/06/2001 in Napoli alla via Traversa Privata Sanseverino*.

Di Leo G., Pascale G.: *Prove non distruttive sulle costruzioni in c.a.*, Il giornale delle prove non distruttive n. 4, 1994.

