

VERIFICA DI AFFIDABILITÀ DI STRUTTURE IN C.A. SOGGETTE

A CARICO D'INCENDIO MEDIANTE TECNICHE NDT

F. Morrone* - G. Porco** - G. F. Valer Montero**

* Newtech s.r.l. Consulting and Research on Designing, Constructing and Monitoring of Civil Structures
fulvio.morrone@virgilio.it

** Università della Calabria, Dipartimento di Ingegneria Civile
a.porco@sismalab.it giuliafvalerm@gmail.com

INTRODUZIONE

La verifica di affidabilità di un edificio soggetto a carico di incendio è un argomento che sovente si presenta agli operatori del settore mostrando una elevata complessità risolutiva, sia per la specificità di alcuni aspetti, sia per la multidisciplinarietà delle conoscenze richieste [1]. La letteratura di riferimento è abbastanza corposa e rende disponibili ai tecnici informazioni, principalmente mirate ad evidenziare il comportamento al fuoco dei calcestruzzi [2], dei solai latero cementizi [4], o ad illustrare metodologie di carattere sperimentale per l'investigazione dei materiali in situ [3]. Bisogna tuttavia rilevare che fino all'entrata in vigore delle norme NTC08, a chi operava non era resa disponibile alcuna procedura di approccio al problema o una metodologia procedurale che descrivesse, in modo dettagliato, i passi da compiere per poter giungere a determinare i coefficienti di sicurezza posseduti da una struttura esistente soggetta a carico di incendio. In molte circostanze, in passato, l'analisi veniva svolta con approcci estemporanei, basandosi su procedure sperimentali di investigazione in situ, tarate ed efficaci sui materiali integri, ma senza alcuna base di affidabilità sui materiali trattati termicamente.

L'entrata in vigore della NTC08 ha finalmente colmato il vuoto normativo relativo alla verifica del patrimonio edilizio esistente, indicando in modo chiaro il processo da seguire per giungere ad effettuare la valutazione di sicurezza di edifici esistenti in calcestruzzo armato e muratura. Sulla scorta del percorso tracciato dal nuovo impianto normativo è apparsa evidente la necessità di adattare la procedura di approccio sull'esistente, alla esecuzione del controllo di un immobile non solo datato ma soggetto a carico di incendio, implementando inoltre le procedure di controllo NDT per materiali integri, a materiali strutturali soggetti a elevati gradienti termici o a fiamme libere. A tal riguardo è utile sottolineare che gran parte delle metodologie, essendo non invasive,

forniscono indici o grandezze legate alla superficie dell'elemento o quando interessano le porzioni interne, comunque restituiscono grandezze ricavate con sonde a contatto, pertanto il trattamento termico subito dai calcestruzzi ha inevitabilmente una forte influenza sui valori sperimentali.

E' in questo contesto che è stato redatto il presente lavoro, il quale intende principalmente fornire una validazione di campo di un protocollo procedurale di approccio al problema proposto dagli autori in una precedente nota [5]. In particolare verrà trattato un caso reale di studio sul quale è stata applicata la procedura proposta, mostrando i risultati ottenuti e fornendo inoltre, qualche utile riflessione all'uso delle tecniche NDT sui calcestruzzi deteriorati dai gradienti termici.

1. TECNICHE NDT PER LA VERIFICA DI MATERIALI SOGGETTI A CARICO DI INCENDIO

Notevole è stata negli ultimi anni la diffusione delle tecniche di controllo non distruttivo in ambito civile, principalmente le metodologie NDT sono tutt'oggi utilizzate per la ricostruzione delle sezioni resistenti, per effettuare l'accorpamento in famiglie dei calcestruzzi e con l'ausilio di curve di correlazione create ad hoc, usate anche per un controllo puntuale delle classi di resistenza. E' evidente che la prestazionalità e il rendimento di queste tecniche è ancora molto lontano da quanto è possibile riscontrare in altri ambiti dove esse sono largamente impiegate quali, il campo aeronautico, ferroviario o automobilistico, ma sicuramente la prerogativa di assicurare una comparabilità molto affidabile tra diversi elementi portanti e quindi tra diversi materiali, pone il controllo NDT in campo civile come elemento guida per i controlli strutturali e con le dovute precauzioni, anche per il controllo dei materiali soggetti a carico di incendio. In riferimento a quest'ultimo aspetto è bene precisare che, trattandosi di procedure sperimentali e considerato il particolare contesto caratterizzato da membrature danneggiate da effetti termici anche notevoli, i risultati ottenuti possono essere fortemente influenzati, arrivando a volte ad essere addirittura non rappresentativi. Per attenuare gli effetti di queste variabili legate al danneggiamento, è necessario enfatizzare, specialmente nell'ambito dei trattamenti termici, il concetto di omogeneità del materiale, sia quando si confrontano calcestruzzi appartenenti a membrature diverse sia quando si opera su uno stesso elemento. Vedremo in seguito come, per il controllo ultrasonoro e per i carotaggi, diventa

essenziale stabilire le direzioni di prelievo e le direzioni di invio dell'impulso, in modo da minimizzare gli effetti di perturbazione puntuale dovuti alle alterazioni del materiale, sia in superficie che nelle zone più interne delle membrature.

Nelle sezioni successive saranno forniti alcuni suggerimenti per l'esecuzione dei test NDT in opera e per il prelievo di campioni omogenei; inoltre ampio spazio verrà dedicato alla indagine visiva che, considerata quasi superflua e scontata in ambito civile, assume un ruolo primario in ambito industriale richiedendo in più circostanze l'impiego di operatori certificati.

1.1 INDAGINE VISIVA

Una delle metodologie maggiormente utilizzate nel caso di edifici soggetti a carico di incendio è l'indagine visiva. Questa tipologia di indagine è naturalmente fortemente influenzata dalla capacità dell'operatore, il quale deve avere un buon bagaglio conoscitivo sulle alterazioni prodotte dai gradienti termici sulle strutture portanti [1], di finitura, sui costituenti i materiali di base e sulle parti secondarie quali i solai [4]. Nell'ambito oggetto di studio, con la metodologia visiva si perseguono tre obiettivi fondamentali: il primo di classificazione in macro aree degli spazi soggetti ad incendio, il secondo di raggruppamento in famiglie di quegli elementi portanti che presentano esteriormente lo stesso livello di deterioramento, il terzo di identificare sulla singola membratura spessori di materiale che hanno subito lo stesso trattamento termico. Naturalmente è scontato che sempre con l'ausilio della indagine visiva nelle fasi preliminari viene verificata la possibilità di ispezionare le aree dell'edificio con o senza l'ausilio di opere provvisorie e di messa in sicurezza. Il protocollo procedurale per come vedremo in seguito basa le prime attività di classificazione e zonazione attraverso il controllo visivo dei solai.

1.2 INDAGINE MAGNETOMETRICA

L'indagine magnetometrica, così come negli edifici esistenti con materiali potenzialmente integri, anche nel caso di edifici soggetti a carico di incendio, svolge il ruolo di tecnica NDT guida per la ricostruzione delle sezioni resistenti e il ruolo invece di tecnica propedeutica al controllo ultrasonoro ed al carotaggio.

L'indagine effettuata sulle membrature soggette a carico d'incendio e quindi deteriorate, non evidenzia particolari problematiche, se non nella preparazione delle superfici che necessitano di procedure più intense per rimuovere quanto presente sulle zone aggredite dal fuoco. Una volta preparate le superfici del calcestruzzo, con questa metodologia possono essere identificati, il numero, il diametro e la direzione delle barre presenti, nonché il copriferro. Possono inoltre essere circoscritte le aree deputate ad accogliere l'impronta delle sonde per l'esecuzione delle prove ultrasonore e verificate le zone sulle quali dovrà essere effettuato il prelievo delle carote di calcestruzzo. In particolare, in riferimento a quest'ultimo aspetto, la esclusione mediante la prova magnetometrica di qualsiasi intrusione di spezzoni d'acciaio, è garanzia per l'estrazione di campioni indisturbati.

1.3 INDAGINE ULTRASONORA

La presenza di zone corticali di calcestruzzo danneggiate in modo differenziato, in base alla collocazione delle membrature rispetto alle zone di focolaio, ed anche in base alla esposizione rispetto alle direttrici di propagazione dei gradienti termici, di fatto inibisce l'uso delle tecniche NDT basate sull'acquisizione dei parametri di tipo superficiale per la verifica di consistenza del cls. In pratica sia il metodo sclerometrico, che di penetrazione, che di pull-out sono fortemente influenzati dalla consistenza dello strato superficiale del calcestruzzo, pertanto è difficile che possano essere impiegati in queste circostanze.

La metodologia maggiormente usata per la verifica della affidabilità dei calcestruzzi in opera, affiancata naturalmente al carotaggio, è l'indagine ultrasonora. Il metodo, utilizzato principalmente per trasparenza, media gli effetti del danneggiamento ed attenua l'azione di dispersione dei dati, mentre usato tramite l'acquisizione indiretta o semidiretta, interessando con i percorsi di trasmissione delle onde strati più superficiali, si rivela maggiormente esposto al disturbo locale, producendo a volte una notevole dispersione. Per poter ridurre questi effetti è utile procedere scegliendo delle ideali linee di propagazione degli ultrasuoni nel materiale a pari danneggiamento, identificate queste ultime con l'andamento delle isoterme nella sezione e in base alla esposizione rispetto alle zone di focolaio. Dall'analisi delle isoterme riportate in letteratura per sezioni esposte a carico da

incendio, con diverse condizioni al contorno e secondo leggi standard di riscaldamento [5], è evidente un trattamento diversificato, sia procedendo verso l'interno della sezione, sia variabile in superficie per particolari esposizioni. L'accorgimento di collegare la scelta delle direzioni di propagazione delle onde, alla classificazione delle aree a pari danneggiamento e poi nella singola area secondo le isoterme della singola sezione, potrà garantire l'acquisizione di dati paragonabili tra di loro, ed escluderà di fatto l'ottenimento di velocità fortemente influenzate ed attenuate da difetti locali. In pratica si potrà in questo modo produrre un campione di dati omogenei a gruppi, che garantiscano, allontanandosi dalla zona dove si è raggiunta la massima temperatura, l'accorpamento di dati provenienti da membrature con lo stesso livello di esposizione e da volumi di calcestruzzo che hanno subito lo stesso danneggiamento.

1.4 LA CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEGLI ACCIAI E DEI CALCESTRUZZI MEDIANTE IL PRELIEVO DI CAMPIONI IN OPERA

La tecnica del carotaggio consente di determinare la resistenza del calcestruzzo in opera, attraverso il prelievo di campioni cilindrici e l'esecuzione su di essi di una prova a compressione. Questa tecnica di indagine, utilizzata nella quasi totalità dei casi su materiale integro, con particolari accorgimenti può rivelarsi altrettanto utile sul materiale trattato con gradienti termici. In analogia alla indagine ultrasonora, il problema è sempre quello di accorpate campioni confrontabili in termini di riscaldamento subito e per il singolo campione, di ridurre gli effetti locali del danneggiamento differenziato lungo l'asse del cilindro estratto. Anche in questo caso, ritenendo valida l'ipotesi che le differenze di temperatura evidenziate dalle isoterme siano strettamente correlate con la mappatura del danno sulla sezione, è evidente che le direzioni di prelievo siano obbligatoriamente da disporre parallelamente alle isoterme e non perpendicolarmente ad esse, con la ulteriore prescrizione che tutta la carota estratta appartenga ad un insieme omogeneo di calcestruzzo che ha subito, per quanto possibile, lo stesso trattamento termico.

In riferimento agli acciai, invece, la problematica di valutare i livelli di affidabilità del materiale costituente le barre presenti nelle sezioni resistenti, in condizione post incendio, è relativamente semplice da affrontare. Infatti la metodologia utilizzata per

valutare la resistenza a trazione, è basata sulla estrazione di campioni in opera e sulla esecuzione di una prova a trazione sulla porzione di barra prelevata. L'unico accorgimento è naturalmente quello di prelevare campioni in numero rappresentativo per le zone che evidenziano lo stesso livello di danno. Il problema è che, con questa procedura, si riescono a determinare dei coefficienti di sicurezza sulle sezioni che possono essere non proprio aderenti al reale stato della struttura. Infatti, le caratteristiche meccaniche delle barre non evolvono esclusivamente con gradienti negativi evidenziando un minimo nella condizione post incendio, ma hanno una storia che, nelle fasi di raffreddamento, induce un recupero di prestazionalità, assegnando di fatto, lo stato di minima affidabilità alla fase di raggiungimento della massima temperatura. In genere per le barre da c.a. il superamento di temperature intorno a 500-550 gradi coincide con una repentina riduzione delle proprietà meccaniche, ossia marcata perdita di resistenza e forte contrazione del modulo elastico. Per quanto attiene alle fasi successive all'evento e cioè le fasi di raffreddamento e quindi di ritorno alle temperature ambientali, l'acciaio evidenzia un marcato recupero delle caratteristiche possedute all'origine, con modalità e valori in funzione del tipo di materiale e della massima temperatura cui lo stesso è stato esposto. Il riflesso di tutto ciò sulle reali potenzialità delle sezioni resistenti, è estremamente variabile e legato alla consistenza dei copriferri, alla esposizione rispetto alle zone di focolaio, ed è anche indirettamente collegato al regime di sforzo presente sulla membratura per la valutazione del rischio da collasso.

Essendo l'argomento estremamente complesso, rimandando contestualmente a testi specifici per eventuali approfondimenti, è possibile comunque fornire alcune semplici considerazioni, ossia la perdita di capacità portante per l'acciaio in termini di resistenza ultima, così come la evidente riduzione dei moduli elastici quando siamo in presenza di elementi prevalentemente compressi e costituiti principalmente da aree resistenti in calcestruzzo, non è elemento di forte preoccupazione, se non nelle fasi di massimo sviluppo dell'incendio. Viceversa per gli elementi prevalentemente inflessi quali le travi, dove le sollecitazioni di risposta ai carichi presenti sono basate esclusivamente sugli sforzi di trazione presenti nelle barre, è facile prevedere una riduzione dei margini di sicurezza con fase evolutiva massima nel corso dello sviluppo delle più alte temperature e in base alla portata dell'evento per questi elementi sarà più elevato il rischio di collasso. Nella fase

di estinzione dell'evento invece, il recupero delle caratteristiche dell'acciaio comporterà, qualora le barre siano ancora posizionate nella originaria dimora, un recupero dei margini di sicurezza rispetto alla fase acuta dell'incendio.

2. UNA STRATEGIA DI APPROCCIO AL PROBLEMA

Per come succintamente illustrato nei paragrafi precedenti, la fase di indagine sperimentale per la caratterizzazione in opera dei materiali, si arricchisce di nuove problematiche e di accorgimenti tecnici operativi rispetto alle attività comunemente svolte sulle strutture esistenti non soggette a trattamento termico. Il tutto è comunque finalizzato ad ottenere la valutazione del livello di sicurezza di una struttura e il raggiungimento di questo obiettivo, comporta l'implementazione di altre attività che sono propedeutiche e successive alla campagna sperimentale; in pratica si tratta di attivare una sequenza di azioni in un preciso ordine temporale, che consentono al tecnico di poter pervenire a valutare numericamente i coefficienti di sicurezza detenuti dalla struttura. La procedura è volta ad evidenziare le eventuali riduzioni dei coefficienti di sicurezza prodottisi a seguito dell'incendio e quale sia la distanza, in termini di sicurezza, rispetto a quanto previsto dalle norme NTC08.

In una precedente nota [5], gli autori hanno proposto un protocollo procedurale di approccio al problema, che nel presente lavoro sarà utilizzato su un caso reale in modo da evidenziarne le potenzialità e naturalmente i limiti. Il protocollo è costituito da una sequenza di fasi cronologicamente ordinate, che partono con le attività propedeutiche e di eventuale messa in sicurezza delle aree, fino a giungere alla fase di calcolo della struttura. In ordine si ha:

1. La prima attività da porre in essere è la ricognizione sui luoghi, per verificare preliminarmente la necessità di predisporre opere di presidio e di messa in sicurezza. In questa prima fase si potrà utilmente classificare le aree dell'immobile identificando ove presenti, eventuali giunti tecnici e circoscrivendo le parti interessate direttamente dall'incendio.
2. Il secondo step è basato su una ricognizione con indagine visiva. Assume in questa fase una importanza rilevante, lo stato di danneggiamento dei solai. In pratica assumendo almeno tre o quattro tipi di danneggiamento guida, sarà possibile

accorpate aree con lo stesso livello di degrado, pervenendo ad una zonazione delle superfici di uno stesso livello. Questa perimetrazione, di fatto, produrrà un accorpamento delle membrature portanti e quindi dei materiali con lo stesso livello di esposizione al fuoco, in aree planimetricamente omogenee.

3. Sulla scorta della classificazione delle aree, dalla quale saranno evidenti le zone con maggiore danneggiamento rispetto a zone più periferiche e quindi più integre, sarà possibile tracciare delle direttrici di sviluppo dell'incendio e quindi guida per l'esecuzione delle indagini; esse idealmente indicano i gradienti di temperatura che si sono prodotti durante l'evento. Inoltre, in una area omogenea e perpendicolarmente a queste direttrici, è ipotizzabile sia presente materiale che ha subito lo stesso danneggiamento. Ciò produce un evidente vantaggio per la scelta delle direzioni di prelievo dei campioni e per l'individuazione delle direzioni di invio degli impulsi ultrasonori. In pratica, le direttrici di indagine avranno l'utilità di individuare gruppi di membrature omogenee, le quali potranno essere poste a confronto in modo da verificare l'effettiva attenuazione delle caratteristiche di resistenza dei materiali dalle zone più periferiche a quelle di focolaio.
4. Le informazioni ottenute dalla fase precedente consentono di predisporre un piano di indagine di dettaglio utilizzando le tecniche NDT e includendo altresì l'identificazione in numero e posizione delle parti dove eseguire il prelievo di campioni di calcestruzzo e di acciaio, ciò in modo da essere rappresentativi numericamente per ogni area omogenea e per livello di danneggiamento.
5. La disponibilità del piano di indagine di fatto non attiva tutta la campagna sperimentale, solitamente è preliminarmente avviata una fase intermedia di validazione del piano di indagine attraverso prove non distruttive. In pratica in opera vengono acquisiti parametri quali le velocità di transito sui calcestruzzi, in modo da verificare sperimentalmente e con dati oggettivi, gli accorpamenti omogenei riportati nel piano di indagine ed estratti sulla scorta della indagine visiva che ha condotto alla definizione della perimetrazione delle aree. A seguito delle risultanze sperimentali NDT, si potrà confermare in toto il piano di indagine, o promuovere ed adottare eventuali correttivi. Questa fase preliminare di attività include anche le

indagini magnetometriche sulle membrature portanti, in modo da ricostruire le sezioni resistenti.

6. Questa fase è costituita principalmente dalla classica attività di prelievo di carote, estrazione di barre ed infine di esecuzione sui campioni estratti di prove a compressione e prove a trazione in laboratorio, oltre che naturalmente il completamento delle indagini NDT. Con questa fase si ottengono dei parametri di resistenza oggettivi sui calcestruzzi e sugli acciai. In particolare, per quanto riguarda i calcestruzzi, l'incrocio dei dati ultrasonori rilevati sulle diverse membrature e i risultati delle prove a compressione ottenuti sulle carote, consentono di pervenire alla caratterizzazione meccanica delle famiglie di calcestruzzo in opera.
7. L'ultima attività è naturalmente di analisi e calcolo e orientata alla valutazione della sicurezza in opera per carichi verticali e per sisma. La disponibilità delle geometrie delle membrature resistenti, dei solai e la conoscenza dei valori di resistenza dei materiali in opera, consentirà al tecnico di valutare le eventuali riduzioni dei coefficienti di sicurezza prodottisi a seguito dell'incendio e quale sia la distanza, in termini di sicurezza, rispetto a quanto previsto dalle norme NTC08.

3. UN CASO DI STUDIO

Il protocollo proposto ha trovato come una delle sue prime applicazioni, il caso di un edificio monopiano adibito ad attività commerciale. L'immobile è stato interessato da incendio per diverse ore ed è stato oggetto di intervento di spegnimento in due diversi momenti distribuiti su due diverse giornate. Con il riferimento di quanto contenuto nel protocollo, le fasi poste in essere hanno prodotto i seguenti risultati e le seguenti deduzioni tecniche:

Fase 1. La ricognizione sullo stato dei luoghi ha consentito di rilevare sui solai una marcata diversificazione dello stato di conservazione Fig. 1.a,b, in più punti essi presentavano le armature dei travetti poste al di fuori della loro sede naturale evidenziando la inesistenza delle sezioni resistenti. Intere specchiature mostravano perdita di planarità con inflessioni pronunciate superiori ai 2 cm, mentre in forma diffusa erano danneggiate le parti inferiori delle pignatte con consistenti superfici ancora pericolanti. In altre aree,

l'azione del fuoco era invece stata più blanda, con un livello di danneggiamento superficiale e riferito agli intonaci o a piccole porzioni di copriferro.



Fig. 1. a,b – Stato di danneggiamento dei solai

Il precario stato di consistenza rilevato, con ampie zone in incipiente condizione di collasso, ha evidenziato la necessità di predisporre tempestivamente opere di presidio e di messa in sicurezza, le quali sono consistite nella inibizione all'uso del solaio di copertura adibito a parcheggio e nella predisposizione di un sistema di puntellatura e messa in sicurezza Fig. 2. a,b.



Fig. 2. a,b – Fasi di messa in sicurezza

Sempre in questa prima fase è stato possibile verificare la consistenza in termini di estensione planimetrica dell'immobile, sono stati identificati dei giunti tecnici che hanno mostrato l'esistenza di due organismi resistenti indicati nella figura successiva come corpo di fabbrica 1 e 2 ed inoltre, è stato possibile perimetrare un'area nel primo organismo resistente, direttamente interessata dall'evento. Tale evidenza è stata

estremamente utile per il prosieguo delle attività in quanto, nello stesso corpo di fabbrica era direttamente disponibile calcestruzzo potenzialmente integro e calcestruzzo trattato termicamente con livello di danneggiamento diversificato.

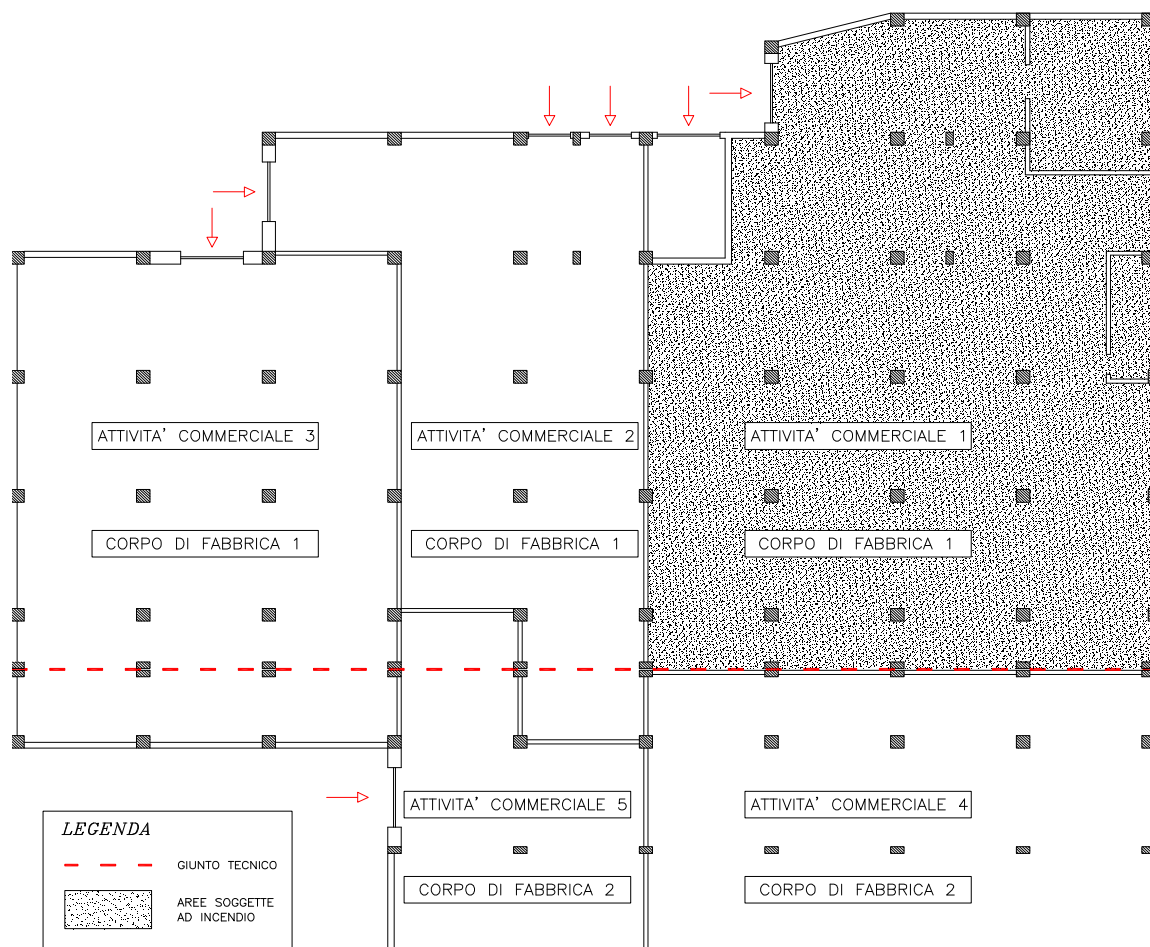


Fig. 3 – Individuazione giunti tecnici ed aree soggette ad incendio

Fase 2. La seconda attività è consistita, nell’ambito del solo corpo di fabbrica 1, nella attuazione del rilievo visivo del livello di danneggiamento dei solai.

Fissando tre livelli di danneggiamento guida e cioè, due dedicati per l’area direttamente interessata dall’incendio e uno per le zone estranee all’evento, si è pervenuti alla perimetrazione riportata nella figura 5.



a - Area a medio grado di danneggiamento

b - Area ad alto grado di danneggiamento

c - Area estranea all’incendio

Fig. 4. a,b,c – Tipologie di danneggiamento

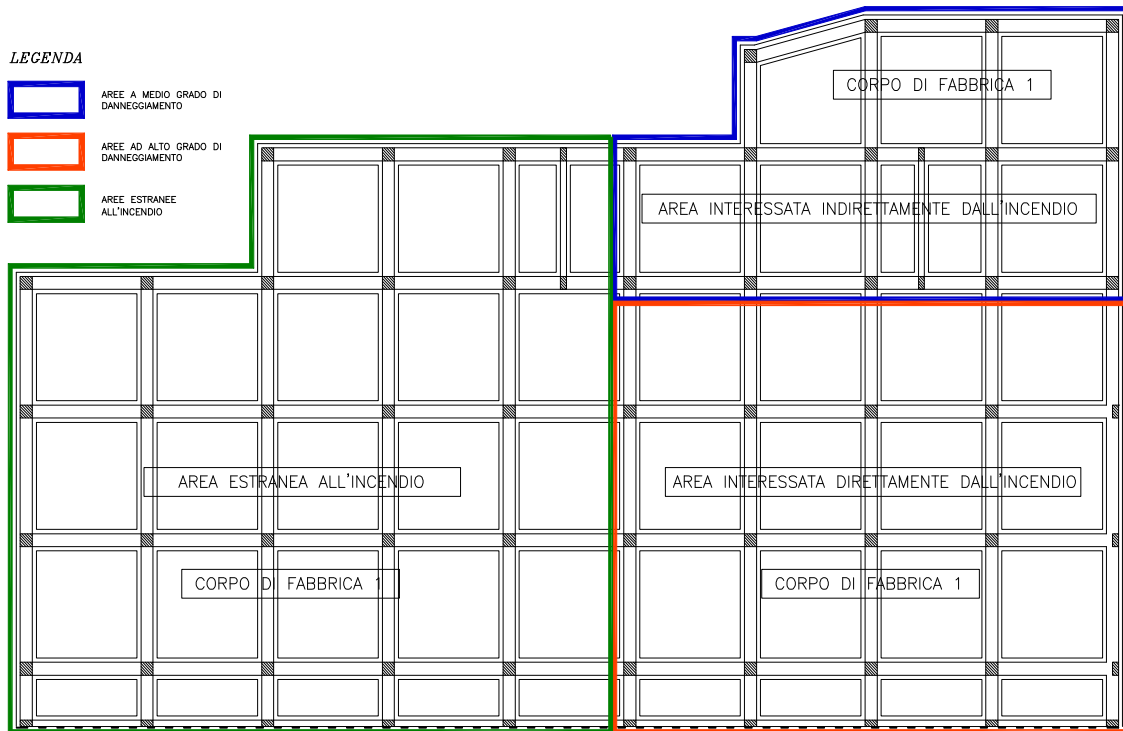


Fig. 5 – Perimetrazione delle aree in base al grado di danneggiamento

Fase 3. Con il supporto della perimetrazione effettuata sul primo corpo di fabbrica è stato possibile tracciare, per come riportato nella figura 6 e per la sola porzione interessata dall'incendio, le direttrici di sviluppo dei gradienti termici.

INDIVIDUAZIONE DELLE DIRETTRICI DI INDAGINE SULLA SOLA PORZIONE DEL CORPO DI FABBRICA 1 INTERESSATA DIRETTAMENTE DALL'INCENDIO

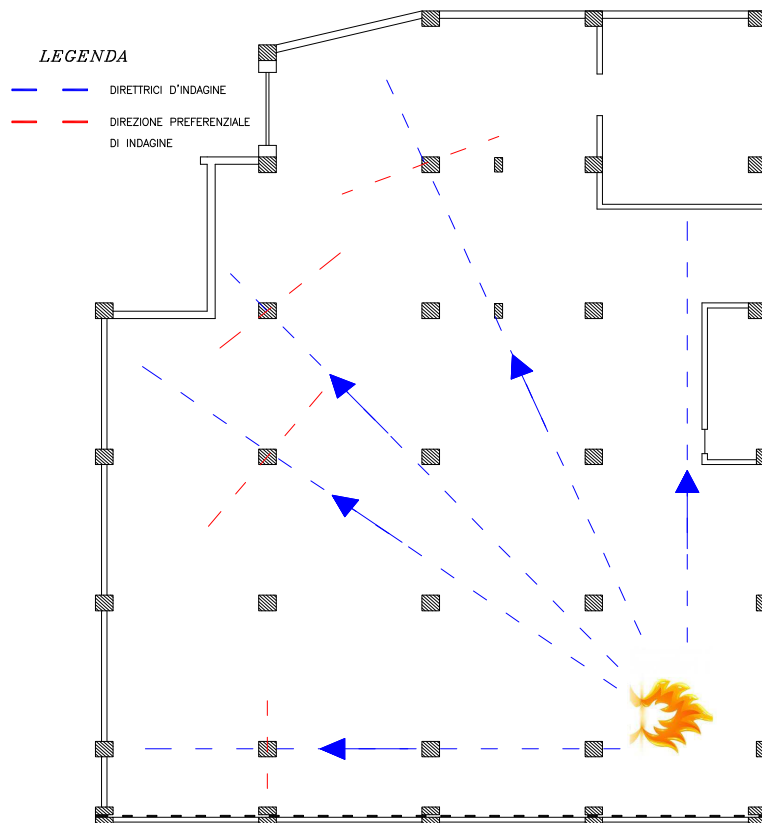


Fig. 6 – Individuazione direttrici di indagine

Le direttrici indicando idealmente i gradienti di temperatura, definiscono anche la direzione lungo la quale il danneggiamento si riduce e costituiscono una importante guida per la definizione del piano indagine oggetto della fase successiva.

Fase 4. La disponibilità della mappatura del danno e delle direttrici di indagine hanno permesso di preparare un piano sperimentale di attività illustrato nella figura 7.

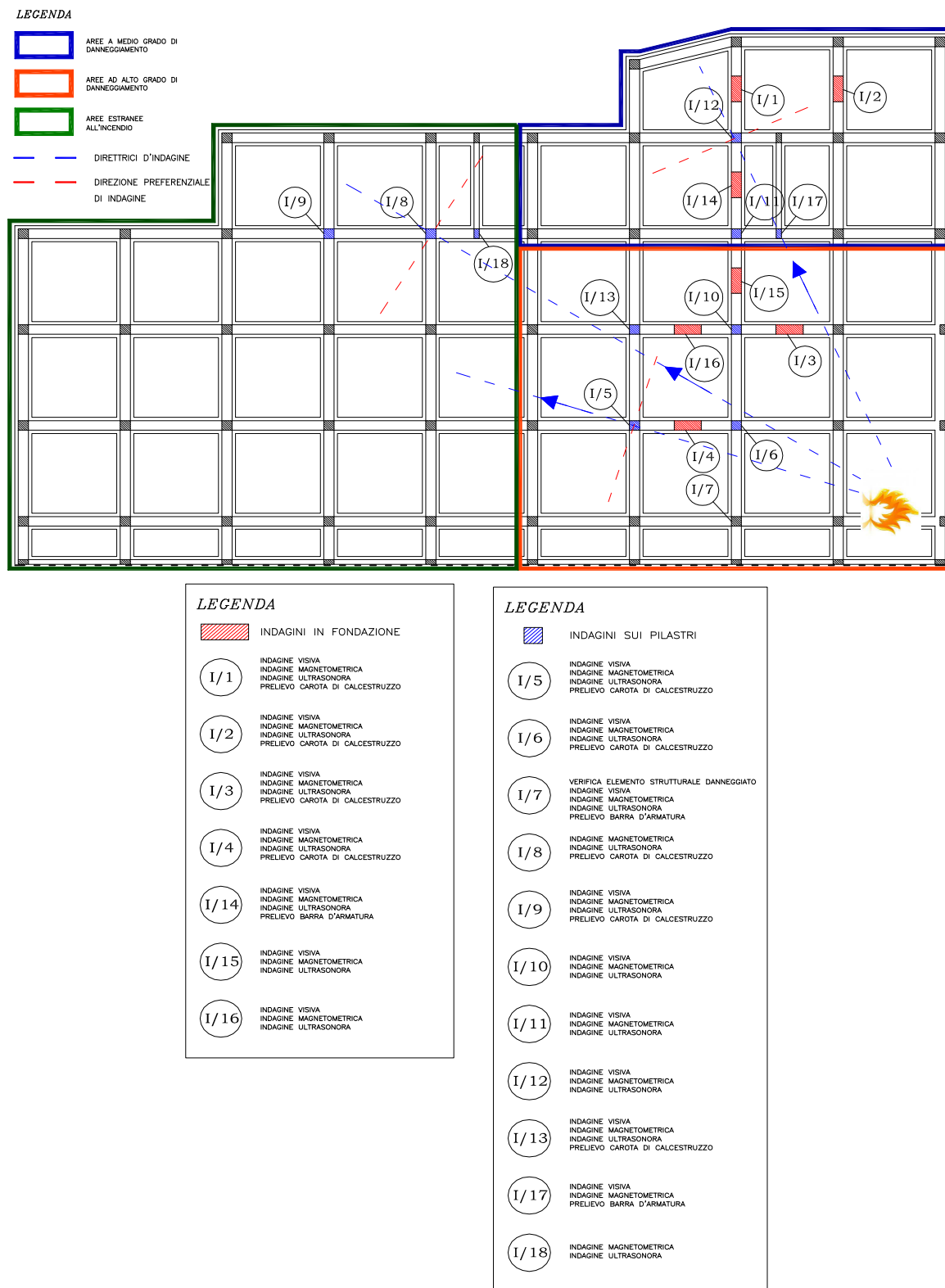
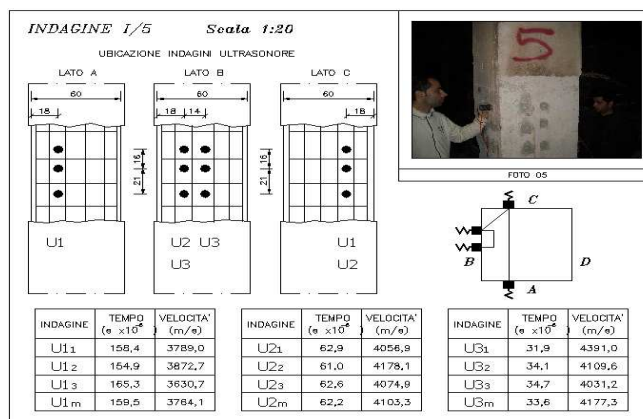


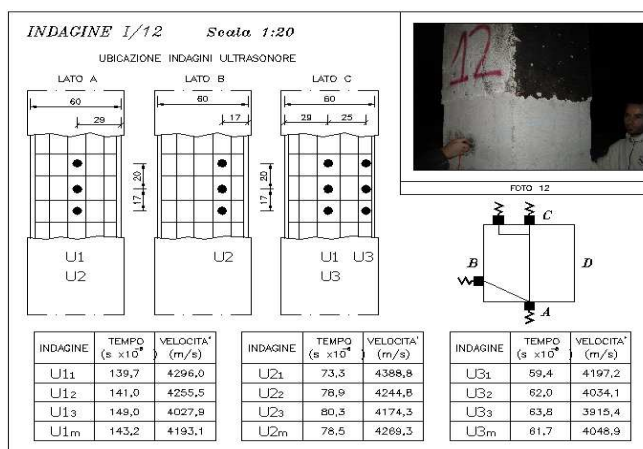
Fig. 7 – Piano di indagine.

Il piano, per come è riportato nella figura di riferimento, è stato articolato in numero rappresentativo di prelievi in base al livello di conoscenza richiesto e congruente con le NTC 08; inoltre, per le diverse aree di danno sono state previste indagini ultrasonore utili ad eseguire i controlli comparativi e indagini magnetometriche.

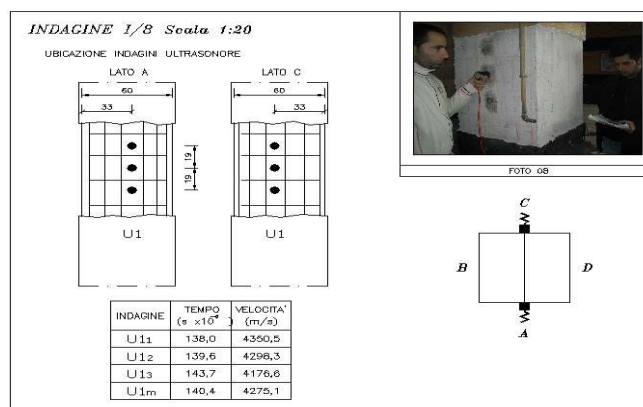
Fase 5. Questa fase è stata principalmente dedicata alla validazione del piano di indagine.



a - Indagine ultrasonora condotta sul pilastro 5 nell' area ad alto grado di danneggiamento



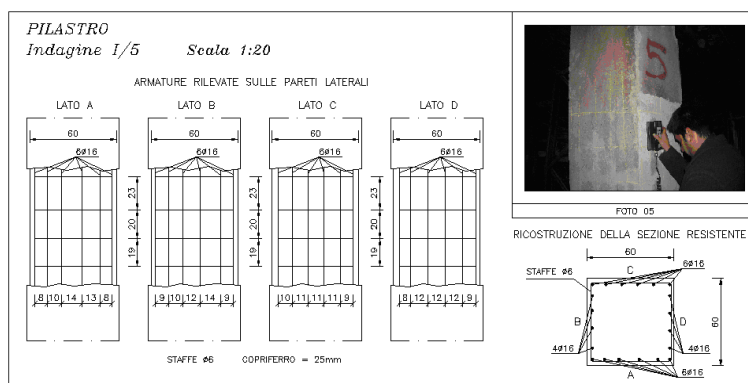
b - Indagine ultrasonora condotta sul pilastro 12 nell' area a medio grado di danneggiamento



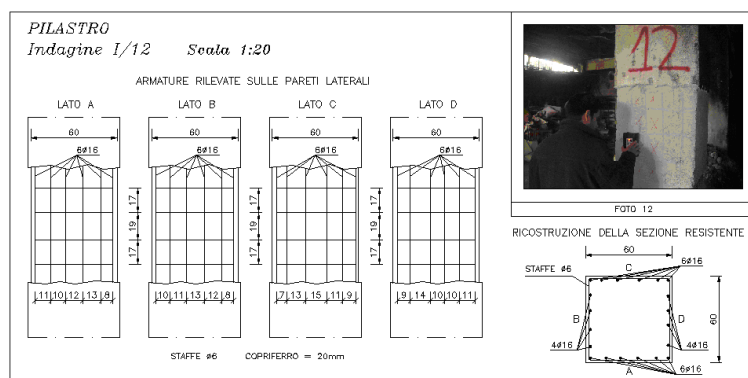
c - Indagine ultrasonora condotta sul pilastro 8 nell'area estranea all'incendio

Fig. 8. a,b,c - Risultati indagini ultrasonore preliminari sui pilastri

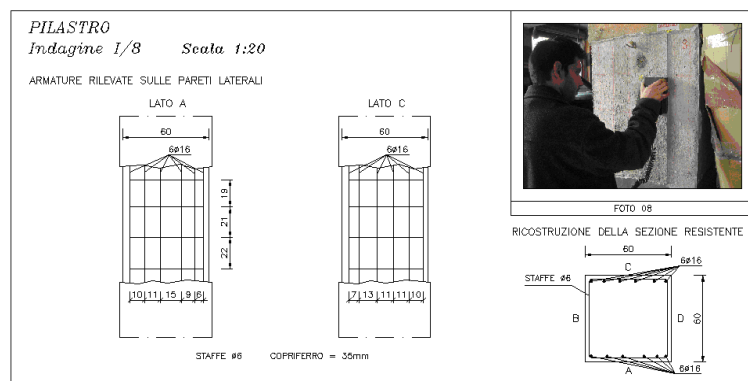
In pratica su diverse membrature ubicate in aree omogenee è stato acquisito il tempo di volo ed è stata verificata la variabilità del parametro al variare del livello di danneggiamento. Per brevità espositiva vengono riportate le acquisizioni di soli tre elementi verticali che attestano quanto asserito, Fig. 8. a,b,c. Sempre in questa fase è stata condotta l'indagine magnetometrica per ricostruire le sezioni resistenti e, nelle figure seguenti, per le stesse membrature investigate con il metodo ultrasonoro, sono riportati i rilievi eseguiti.



a – Ricostruzione della sezione resistente sul pilastro 5 mediante indagine pacometrica



b – Ricostruzione della sezione resistente sul pilastro 12 mediante indagine pacometrica



c – Ricostruzione della sezione resistente sul pilastro 8 mediante indagine pacometrica

Fig. 9. a,b,c – Ricostruzione sezioni resistenti mediante indagine pacometrica

Considerato che gli accertamenti strumentali hanno validato quanto contenuto nel piano di indagine, si è passati alla fase successiva di prelievo dei campioni e di completamento dei controlli NDT previsti.

Fase 6. In questa fase l'indagine è stata dedicata prevalentemente al prelievo dei campioni di cls e di acciaio da sottoporre alle prove rispettivamente di compressione e di trazione. Sempre per brevità espositiva nelle figure seguenti sono riportati solo alcuni campioni estratti.



a – Estrazione del campione



b – Campione estratto

Fig. 10. a,b – Prelievo campione di calcestruzzo sul pilastro 5



a – Estrazione del campione



b – Campione estratto

Fig. 11. a,b – Prelievo campione di calcestruzzo sul pilastro 8



a – Estrazione del campione



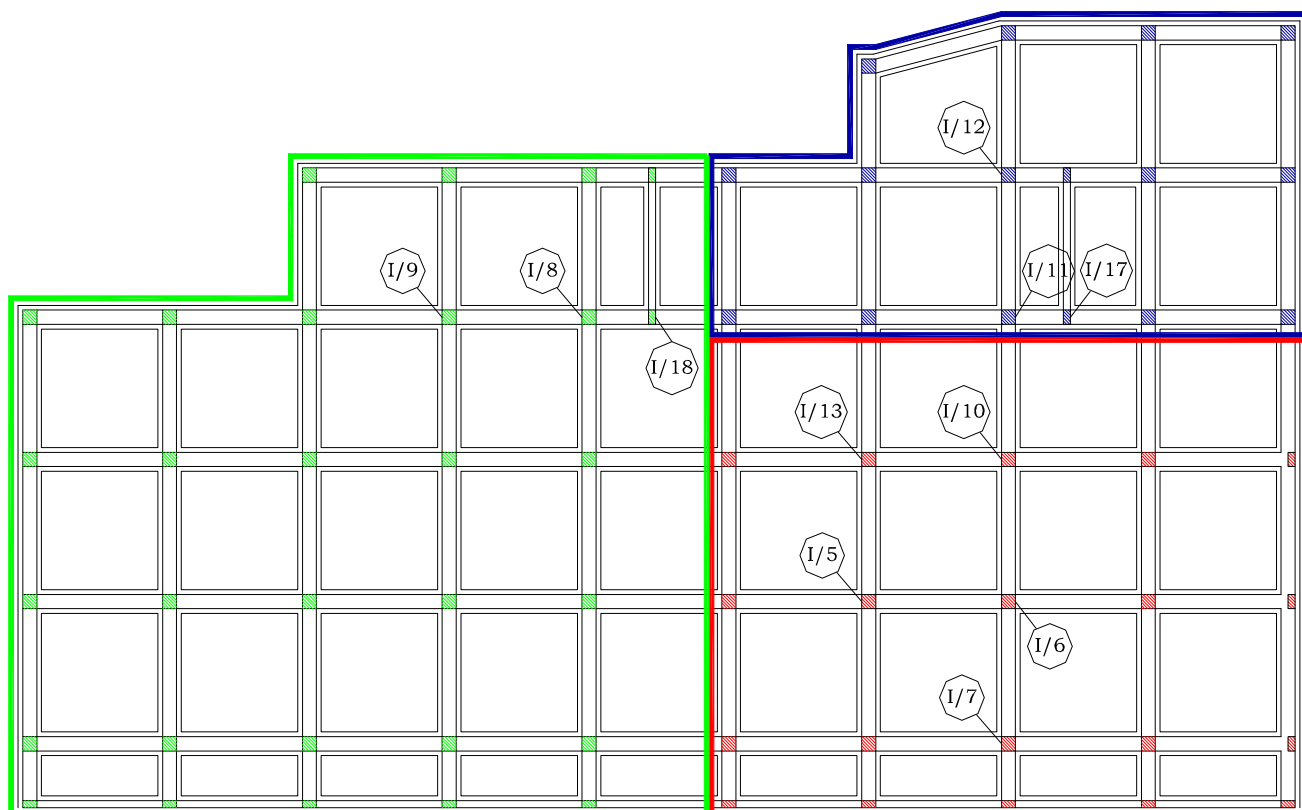
b – Campione estratto

Fig. 12. a,b – Prelievo campione di acciaio sul pilastro 7

I valori dei parametri a compressione ottenuti sui campioni di cls estratti sulle tre aree, opportunamente incrociati con le velocità di transito degli ultrasuoni, hanno permesso di caratterizzare meccanicamente le famiglie presenti in opera. Analogamente per gli acciai le prove di laboratorio condotte hanno restituito informazioni sul tipo di acciaio impiegato e sui valori di resistenza a trazione. La disponibilità di questi dati con la ricostruzione delle sezioni resistenti, ha permesso di poter attivare la fase finale della procedura.

Fase 7. L'ultimo passaggio del protocollo procedurale è naturalmente di carattere numerico. In pratica con la indagine materica condotta e riportata nella figura 13, unitamente a quanto restituito dalla fase 3, ossia di ricostruzione delle sezioni resistenti, sono stati valutati i coefficienti di sicurezza detenuti dalla struttura nella fase post incendio.

VALUTAZIONE DEI PARAMETRI MECCANICI DEI CALCESTRUZZI SUI PILASTRI



LEGENDA




- | | | |
|--|---|---|
|  <p>PILASTRI CON RIDUZIONE DEI PARAMETRI MECCANICI PARI AL 25% RISPETTO ALLA CLASSE POTENZIALE DETENUTA, RIFERITA ALL'EPOCA DI COSTRUZIONE. RESISTENZA ATTUALE: Rck 200
IL PILASTRO IDENTIFICATO CON INDAGINE I/7 E' IRRIMEDIABILMENTE COMPROMESSO PER LA PRESENZA DI LESIONI PASSANTI.</p> |  <p>PILASTRI CON PARAMETRI MECCANICI PARI A QUELLI DETENUTI IN ORIGINE. CLASSE POTENZIALE RIFERITA ALL'EPOCA DI COSTRUZIONE: Rck 250</p> |  <p>MEMBRATURE NON SOGGETTE AD INCENDIO
PILASTRI CON PARAMETRI MECCANICI PARI A QUELLI DETENUTI IN ORIGINE. CLASSE POTENZIALE RIFERITA ALL'EPOCA DI COSTRUZIONE: Rck 250 CON EVIDENZE DI RESISTENZE TENDENTI ALLA CLASSE SUPERIORE, OSSIA Rck 300</p> |
|--|---|---|

Fig.13 – Risultati ottenuti dalla campagna di indagine sui pilastri

CONCLUSIONI

Da quanto riportato nelle sezioni precedenti è possibile concludere che la procedura proposta costituisce, almeno per casi tipo simili a quello presentato, una buona metodologia guida per la valutazione della sicurezza su edifici soggetti a carico d'incendio.

Il protocollo procedurale, inoltre, sotto il profilo sperimentale, enfatizza l'uso delle tecniche di controllo NDT, le quali costituiscono un formidabile strumento di indagine per effettuare una verifica di omogeneità su membrature soggette allo stesso trattamento termico e per valutare, insieme al carotaggio, le caratteristiche in situ dei materiali. Tuttavia è necessario evidenziare che la procedura proposta dovrà essere impiegata ancora in altre validazioni di campo, al fine di poter asserire compiutamente circa la sua affidabilità. Inoltre sarà opportuno verificarne la portata in situazioni più complesse che possano metterne in evidenza limiti ed eventuali carenze procedurali in modo da implementare i contenuti, con la finalità di estenderne notevolmente i campi applicativi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] E. Cartapati – “ *Le strutture di c.a. e c.a.p. e l'incendio. Parte prima: Inquadramento dei problemi di verifica*” – Giornale AICAP. 2002.
- [2] M. Li, C. Qian, W. Sun – “*Mechanical properties of high-strength concrete after fire*” - Cement and Concrete Research 34 (2004) 1001–1005.
- [3] R. Felicetti – “*Strumenti inediti per l'analisi del degrado nelle strutture in cemento armato*” - Estratto dagli atti del 17° Congresso C.T.E. Roma, 5-6-7-8 novembre 2008.
- [4] D.G. Favilla, G.C. Marano, F. Piccininni, F. Trentadue, G. Ninni – “*Analisi termica di solai in latero-cemento sottoposti a carico d'incendio*”. La Gazzetta dei Solai. Mensile di informazione tecnica sui solai in laterizio. Febbraio 2009, numero 54.
- [5] F. Morrone, G. Porco, G. F. Valer Montero - “*Controlli NDT sulle strutture in c.a. soggette a carico d'incendio*”. Il Giornale delle Prove Non Distruttive Monitoraggio Diagnostica, anno XXXIV n. 2 – Giugno 2013