

Disseminazione nel contesto internazionale delle prove non distruttive nel settore dell'ingegneria civile e dei beni culturali: la collaborazione tra AIPnD e IAEA

Dario Foppoli

d.foppoli@foppolimoretta.it

Consiglio Scientifico

Associazione Italiana Prove non

Distruttive (AIPnD)

pagina a fronte

Fig. 1
Damasco: il cortile
centrale del Khan di
Azim Pascià (foto D.
Foppoli, 2024).

Abstract

Since 2019, the Italian Association for Non-Destructive Testing has been collaborating with the International Atomic Energy Agency in the sector of development and certification of Non Destructive Testing and during the interventions for recovery after natural and non-natural disasters. In this context Italian experts have had the opportunity to take part to many international technical cooperation missions, at national and regional level, giving training about methods for structural assessment of damaged buildings and on the use of non-destructive testing aimed to analyze the integrity of buildings affected by disasters. These missions have often taken place in complex environmental conditions, due to the geopolitical situation of the areas, like in Beirut or Damascus.

However, in any case, the contribution of Italian technicians has been relevant, particularly with reference to the approach to the buildings classified as cultural heritage. It has to be underlined that our national history and culture eases the knowledge transfer to different geographical contexts, and that Italian skills in this specific sector are relevant, as well as appreciated worldwide.

Key-words

IAEA, NDT, International Technical Cooperation, Cultural heritage.

Introduzione

L'Associazione Italiana Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica e Laboratori di Prova (AIPnD) è un Ente del Terzo Settore senza scopo di lucro con finalità scientifiche, culturali e professionali. È stata fondata nel maggio 1979 con l'obiettivo di promuovere la conoscenza scientifica e lo sviluppo tecnologico delle prove non distruttive (nel seguito dell'articolo esse verranno identificate con l'acronimo inglese *NDT = Non Destructive Testing*) e di informare e sensibilizzare in merito alla loro applicazione. L'Associazione Italiana riunisce oltre cinquecento istituzioni, centri di ricerca e aziende che operano a livello nazionale utilizzando le tecniche di prova non distruttive nei vari settori (Aerospazio – Automotive – Beni Culturali – Civile – Energia – Ferroviario) e cura la redazione di riviste e pubblicazioni, l'organizzazione di convegni, la divulgazione e la formazione nel settore di competenza.





Fig. 2
Le missioni di IAEA nel contesto
della Cooperazione Tecnica
Internazionale (elaborazione D.
Foppoli, 2025).

Fin dal settembre 2019 AIPnD ha ottenuto un significativo riconoscimento internazionale sottoscrivendo con International Atomic Energy Agency (IAEA) un *practical arrangement* finalizzato alla cooperazione nel campo dello sviluppo e della certificazione dei controlli non distruttivi e all'intervento in caso di disastri naturali e non naturali.

IAEA è un'Agenzia delle Nazioni Unite (UN) costituita nel 1957 in risposta ai timori e alle aspettative generate dalle scoperte e dai diversi usi della tecnologia nucleare. È stata caratterizzata fin dalla sua istituzione dal motto "Atoms for Peace", ricevendo il mandato di operare con i suoi stati membri e con molteplici partner in tutto il mondo per promuovere l'applicazione delle tecnologie nucleari in modo pacifico e sicuro. A riprova dell'impegno profuso per questa missione nel 2005 l'Agenzia e il suo Direttore Generale, Mohamed ElBaradei hanno ricevuto il Premio Nobel per la Pace con la motivazione: «per gli sforzi per impedire che l'energia nucleare venga utilizzata per scopi militari e per garantire che l'energia nucleare venga impiegata per scopi pacifici nel modo più sicuro possibile».

Nell'ambito del suo mandato IAEA ha da sempre svolto un ruolo proattivo nel promuovere l'adozione e l'applicazione di tecniche non distruttive attraverso varie iniziative tra cui progetti di Cooperazione Tecnica (TC) nazionali e regionali (nel lessico UN le regioni hanno dimensione continentale). Il programma di TC costituisce infatti il meccanismo principale destinato a trasferire tecnologia agli stati membri, supportandoli per affrontare le principali priorità di sviluppo in settori quali salute e nutrizione, alimentazione e agricoltura, acqua e ambiente, applicazioni industriali e gestione delle conoscenze nel settore nucleare. Il programma aiuta inoltre gli stati membri a identificare e soddisfare le future esigenze energetiche e contribuisce a migliorare la sicurezza delle radiazioni e la sicurezza nucleare in tutto il mondo, anche attraverso la fornitura di assistenza legislativa.

In risposta ai bisogni espressi dagli stati membri, negli ultimi decenni IAEA ha promosso lo sviluppo delle applicazioni delle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile (Guidebook, 2002) e dei beni culturali (Gonçalves et al., 2018), in particolare in relazione alle attività di prevenzione e di intervento conseguenti ad eventi catastrofici quali incendi, esplosioni, terremoti e alluvioni (Forensic Insight, 2024). Coordinando numerosi progetti di TC, l'Agenzia ha addestrato il personale addetto all'esecuzione delle prove non distruttive con l'obiettivo di costituire a livello internazionale centri di competenza finalizzati a raggruppare e organizzare tecnici in grado di acquisire i dati necessari per valutare le condizioni strutturali degli edifici e delle infrastrutture civili danneggiati da disastri naturali e non naturali. Nel settore delle prove non distruttive gli stati membri hanno quindi potuto sviluppare programmi di addestramento e di certificazione del personale tecnico addetto all'esecuzione di tali prove. IAEA è stata inoltre coinvolta attivamente e direttamente nella redazione di ricerche (Nuclear Techniques, 2011), materiale per l'addestramento e linee-guida (Guidelines, 2024) utili a sviluppare competenze e conoscenze istituzionali, capitale umano e infrastrutture tecniche.

In molte regioni IAEA ha coordinato lo sviluppo di queste attività specialmente a seguito di eventi catastrofici (Figura 2); con lo scopo di portare aiuto immediato dopo tali disastri; tuttavia gli interventi di emergenza sono stati considerati anche l'occasione per diffondere informazioni e condividere esperienze, competenze e strumentazioni.

Le prove non distruttive costituiscono una parte fondamentale delle procedure da applicare in situazioni di emergenza e nel contempo risultano un potente strumento per la prevenzione dei possibili danni causati da eventi catastrofici (Foppoli, 2016). Un'attenzione particolare deve essere inoltre rivolta all'applicazione a lungo termine dei metodi *NDT* come parte dei programmi di manutenzione necessari per migliorare la sicurezza delle strutture esistenti (ad esempio edifici, ponti e impianti industriali) e come parte delle misure di controllo di qualità per verificare i processi di costruzione di edifici e infrastrutture rendendoli più sicuri.

Vengono nel seguito descritti alcuni interventi realizzati da IAEA con il contributo di AIPnD, che hanno comportato significativi benefici sia nei paesi direttamente coinvolti, che alla più ampia scala regionale.

L'esplosione del 2020 nel porto di Beirut

Il 4 agosto 2020 nel porto di Beirut si è verificata l'esplosione di un deposito di 2750 t di nitrato di ammonio che ha prodotto un cratere di 124 m di diametro e 43 m di profondità e ha causato oltre 200 morti, 7.000 feriti e 300.000 evacuati, provocando danni rilevanti in un raggio di 3 km; gli effetti sono stati risentiti in un raggio di 10 km dal luogo della deflagrazione. Molti edifici direttamente colpiti dall'esplosione, in particolare tra quelli che possono essere considerati Beni Culturali (Hammoud, 2014), sono stati fortemente danneggiati, innescando localmente un dibattito in relazione alla effettiva opportunità e possibilità del loro recupero (El Hage et al. 2023). Per tale motivo è risultato fondamentale diffondere le conoscenze in merito alla possibilità di utilizzare *NDT* per valutare lo stato di danno delle strutture e per identificare i punti e le modalità di eventuali interventi di consolidamento. IAEA ha quindi inviato in sito una squadra di esperti per formare tecnici locali con le competenze necessarie per esaminare l'integrità degli edifici danneggiati dall'esplosione.

Per ottimizzare l'efficacia della missione essa è stata anticipata da un web-training finalizzato a fornire ai tecnici locali le conoscenze generali in merito ai materiali e alla concezione strutturale degli edifici; con l'occasione sono state meglio definite e condivise le attività da svolgere nel corso della successiva missione.



Fig. 3
Prove soniche effettuate durante il training a Surssock Palace, Beirut (foto D. Foppoli, 2021).

L'attività in sito a Beirut è stata effettuata nel mese di agosto 2021, ovvero appena le condizioni sanitarie legate alla pandemia l'hanno consentito, e ha coinvolto tre esperti che hanno operato assieme ad una squadra di dieci tecnici libanesi. Durante la missione, il team ha svolto attività di formazione pratica applicando le tecniche *NDT* direttamente sugli edifici danneggiati dall'esplosione. Tra gli altri è stato analizzato Surssock Palace, un palazzo storico del centro di Beirut costruito nel 1860 in stile veneziano, i cui proprietari dispongono di una significativa collezione di dipinti barocchi italiani. Queste particolari circostanze ci sollecitano a sottolineare le molteplici connessioni tra l'Italia e il Medio Oriente che, dal nostro punto di vista mediterraneo, dovremmo più propriamente definire Vicino Oriente in considerazione della prossimità di queste aree alla nostra storia ed alla nostra sensibilità culturale.

L'edificio, circondato da un parco privato affacciato sul porto di Beirut (luogo dell'esplosione), aveva subito rilevanti danni: lo spostamento d'aria l'aveva tra l'altro scoperchiato quasi completamente. L'addestramento compiuto ha comportato l'ispezione preliminare delle strutture danneggiate dal sisma (Manuale AeDES, 2014) che ha permesso di valutare il livello di danno e di stabilire un appropriato percorso della conoscenza (D.P.C.M. 9 febbraio 2011). La formazione è stata effettuata ponendo una serie di quesiti diagnostici relativi alla conformazione dei solai, alla consistenza delle murature e dei colonnati e alla geometria delle fondazioni, che sono stati affrontati operando con test non distruttivi, in particolare con i metodi sclerometrico, ultrasonico (Figura 3), magnetometrico e Ground Penetrating Radar (GPR).

La missione ha avuto un ottimo apprezzamento da parte dei tecnici locali, oltre che una notevole visibilità a livello internazionale, trovando una significativa eco presso la stampa estera (a titolo di esempio in Pakistan, Cina ed Arabia Saudita) oltre che presso il nostro Ministero degli Esteri e la missione italiana presso UN.

Il terremoto del 2023 in Siria e Turchia

Nella notte tra il 5 e 6 febbraio 2023 un forte evento sismico ha interessato l'area meridionale della Turchia, nei dintorni di Gaziantep, e alcune regioni settentrionali della Siria. Le scosse, raggiungendo intensità 7,8 Mw, hanno causato 53.537 vittime in Turchia e 8.476 vittime in Siria oltre ad estese devastazioni che hanno provocato due milioni di evacuati in Turchia e quattro milioni in Siria. È utile precisare che in Siria il terremoto ha colpito l'area tra Latakia, Idlib a Aleppo che, al momento dell'evento catastrofico, risultava ancora divisa tra le fazioni in conflitto a seguito della decennale e sanguinosa guerra civile; per questo non è stato possibile ottenere un conteggio attendibile delle vittime e dei danni. È necessario inoltre aggiungere che l'embargo che la Siria subisce da molti anni e i cattivi rapporti con la confinante Turchia hanno reso ancora più difficoltoso il supporto internazionale alle operazioni di soccorso nell'area affetta dal sisma entro i confini siriani. Pur in queste difficili condizioni logistiche e operative l'Agenzia Atomica ha inteso collaborare nel contesto dell'emergenza inviando, a supporto della popolazione colpita dal devastante terremoto, apparecchiature mediche e strumentazione ingegneristica utile a valutare i danni prodotti dal sisma sulle strutture civili e sulle infrastrutture. IAEA ha organizzato con la massima celerità resa possibile dalle già citate condizioni contestuali (nel maggio 2023), una prima missione a Damasco, con lo scopo di fornire ai tecnici locali le conoscenze di base per applicare le tecniche diagnostiche utili a valutare i danni prodotti dal terremoto.

Nell'ambito della missione è stato organizzato un *Workshop on NDT for Civil Engineering and Cultural Heritage Applications*, a cui hanno partecipato quindici tecnici (ingegneri, geologi e fisici) provenienti da Aleppo e da Latakia, aree direttamente sconvolte dal sisma, e da Damasco. Per ragioni di sicurezza legate al perdurare dei conflitti armati è stata purtroppo preclusa agli esperti di IAEA la possibilità operare direttamente sul sito del terremoto. Il workshop ha comportato approfondimenti in merito all'utilizzo di tecniche ispettive e di prove non distruttive finalizzate a determinare l'agibilità degli edifici dopo il sisma e a valutare i danni subiti e la possibilità di recupero dalle strutture danneggiate. È risultato molto efficace promuovere la presentazione di precedenti esperienze locali da parte dei tecnici siriani; ciò ha consentito di evidenziare come nella regione siano già disponibili significative competenze in merito alla conoscenza dei materiali e delle tecniche costruttive, all'effettuazione di ispezioni post-sisma e all'applicazione delle *NDT* su strutture civili e su beni culturali. È stato particolarmente lusinghiero ascoltare la relazione relativa alle prove per la caratterizzazione dinamica (Al-Kousa et al. 2017) effettuate sulla torre del Saladino nella cittadella di Damasco successivamente all'intervento di consolidamento realizzato una decina di anni prima grazie alla cooperazione italiana; le indagini hanno peraltro confermato appieno l'efficacia dell'intervento compiuto.

Anche durante la missione a Damasco è stato possibile avere la chiara percezione della significativa sintonia storica e culturale che lega l'Italia ad un paese come la Siria, che nel passato ha sempre avuto strette relazioni con il nostro. La grande moschea degli Omayyad a Damasco, una delle più antiche del mondo islamico, è paradigma di questa affinità: ha evidentemente l'impronta di una basilica paleocristiana e sorprendentemente è in parte destinata al culto cristiano in quanto custodisce il sepolcro di San Giovanni Battista, profeta riconosciuto da entrambe le religioni.

Nel corso della missione a Damasco sono stati consegnati due set completi di apparecchiature diagnostiche (Figura 4) che il ministero competente ha messo a disposizione dei laboratori delle associazioni degli ingegneri di Aleppo e di Latakia, in modo da consentire il rapido utilizzo in campo per supportare la popolazione colpita dal sisma.



Fig. 4
Il gruppo dei tecnici locali con l'attrezzatura donata da IAEA presso i laboratori AECS di Damasco (foto D. Foppoli, 2023).

L'attrezzatura donata dall'Agenzia Atomica alla Siria (analoga attrezzatura è stata successivamente donata anche alla Turchia) risulta completa e tecnologicamente molto avanzata: ogni set comprende magnetometro, sclerometro, strumentazione per la misura della Velocità degli Impulsi Ultrasonici (UPV), termocamera, strumentazione per misure Impact Echo e due modelli di Ground Penetrating Radar (GPR) caratterizzati rispettivamente da bassa frequenza e grande profondità di penetrazione (particolarmente idoneo per misure nei terreni), e da altissima frequenza ed elevata risoluzione. Quest'ultimo strumento è inoltre implementato con l'avanzato sistema Stepped Frequency Continuous Wave (SFCW).

Una seconda missione a Damasco, effettuata nel giugno 2024, ha avuto lo scopo di valutare gli esiti delle prime attività intraprese nell'ambito del progetto di cooperazione tecnica e di rinforzare le competenze per l'utilizzo dell'attrezzatura *NDT* disponibile. È stato realizzato un training pratico in laboratorio e sono state fornite informazioni necessarie per l'applicazione delle metodologie di prova utili per l'esecuzione di complesse campagne diagnostiche. Sono state infine condivise linee-guida finalizzate a mettere a punto a livello nazionale le competenze necessarie alla valutazione diagnostica di strutture civili e beni culturali.

IAEA ha inteso in questo modo intraprendere assieme all'*Atomic Energy Commission of Syria* (AECS) un percorso di lungo periodo finalizzato a sviluppare nel paese centri di competenza per le *NDT*, dotati di personale formato e certificato. Questo consentirà in prospettiva di migliorare il livello qualitativo e l'affidabilità dei risultati delle prove, ottenendo un effetto positivo per l'intera industria delle costruzioni in termini di controllo, di manutenzione e di prevenzione.

Cooperazione Tecnica per integrare le competenze nazionali e regionali

Un maggiore impatto è stato inoltre raggiunto integrando le azioni delle controparti nazionali con progetti di Cooperazione Tecnica sviluppati su scala regionale; in questo mo-

do è stato possibile operare secondo politiche omogenee e coordinate a livello regionale, trasferire competenze tra le varie nazioni e integrare su scala inter-regionale i risultati ottenuti. Un esempio significativo di tale processo è costituito dall'accordo di cooperazione ARCAL¹ sviluppato nella regione Latino-America e Caraibi.

In questa area, fin dal 2017 i terribili effetti causati da ripetuti eventi sismici hanno dimostrato che non risultavano disponibili metodologie e competenze tecniche idonee e affidabili per effettuare valutazioni delle caratteristiche dei materiali e delle strutture attraverso l'esecuzione di prove non distruttive.

Questa circostanza è stata resa particolarmente evidente dal terremoto registrato il 19 settembre 2017, con epicentro nello stato di Puebla e magnitudo 7,1 Mw, che ha causato gravi danni anche in alcune aree di Città del Messico (Roeslin et al. 2018). Questo terremoto è avvenuto esattamente 32 anni dopo il 19 settembre 1985, quando un sisma di magnitudo 8,1 Mw con epicentro nello stato del Michoacán, lungo la costa del Pacifico, aveva provocato il crollo di centinaia di edifici (e oltre 4.000 vittime) a Città del Messico, ad una distanza di 400 km dall'epicentro. Lo studio del sisma del 1985 ha consentito di comprendere le cause del disastro, dovuto all'amplificazione delle onde sismiche provocata dai sedimenti alluvionali che costituiscono la piana in cui sorge Città del Messico (Singh et al. 1988). La ripetizione del fenomeno dopo oltre un trentennio, anche se con minore impatto, ha tuttavia messo in evidenza l'assenza di un'adeguata strategia di prevenzione finalizzata alla valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti.

A partire da questa constatazione, con l'obiettivo primario di contrastare gli effetti dei terremoti, è stato sviluppato tra il 2017 e il 2022 un progetto regionale RLA1014², finalizzato a migliorare la qualità delle tecniche di ispezione e di *NDT* applicate alle strutture civili. Sotto l'egida di questo progetto sono state realizzate numerose missioni di esperti in Messico, Ecuador (anche a seguito del terremoto dell'Esmeraldas del 16 aprile 2016, di intensità 7,8 Mw), Costa Rica, Perù e Cile, coinvolgendo decine di tecnici locali che sono stati formati in merito alle possibilità di valutare attraverso le *NDT* la sicurezza post-sisma ma anche la vulnerabilità strutturale dei manufatti civili.

Nell'ambito di queste attività AIPnD ha contribuito a realizzare attività di formazione virtuale ed in sito. Di conseguenza, dopo avere analizzato le esperienze compiute in tutto il mondo per la certificazione nel settore delle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile, l'Agenzia ha scelto certificare il personale secondo lo schema di certificazione italiano UNI PdR 56:2019, attualmente aggiornato da UNI 11931:2024. Tale attività ha comportato l'effettuazione di uno specifico corso web svolto all'inizio di agosto 2022 e di un corso in presenza a Buenos Aires il successivo novembre, durante il quale sono stati approfonditi i metodi di prova oggetto di certificazione ed è stato effettuato il training pratico di laboratorio; i corsi e gli esami di certificazione sono stati tra l'altro impartiti in lingua spagnola, ovvero castellano secondo la declinazione latino americana. Al corso hanno partecipato oltre trenta tecnici di varia estrazione, da ingegneri civili a fisici nucleari a professori universitari, provenienti da nove paesi dell'America Latina e dei Caraibi; al termine del corso è stato effettuato l'esame di certificazione. Il successo dell'iniziativa è stato pieno, sia in termini di efficacia, che di apprezzamento dei partecipanti, di IAEA e dell'Asociación Argentina de Ensayos No Destructivos y Estructurales (AAENDE) che ha ospitato l'evento.

Ad esito del progetto RLA1014 sono stati infine costituiti tre centri di competenza regionali a Città del Messico, a Buenos Aires e a Santiago del Cile, dotati di un appropriato protocollo di gestione condiviso, allo scopo di migliorare nella regione la velocità e la capacità di reazione ai disastri naturali.

¹ ARCAL: Regional Cooperative Agreement for the Promotion of Nuclear Science and Technology in Latin America and the Caribbean.

² RLA1014: Advancing Non-Destructive Testing Technologies for the Inspection of Civil and Industrial Structure.



Fig. 5
Visita Scientifica di una delegazione di tecnici malesi presso un cantiere di restauro monumentale nel centro di Brescia (foto D. Foppoli, 2022).

Un riscontro significativo dell'efficacia del processo compiuto è stato ottenuto sul campo in occasione del successivo terremoto di intensità 6,9 Mw avvenuto il 18 marzo 2023, nella regione di Machala in Ecuador, che ha provocato 18 vittime ed estesi danni agli edifici. A seguito di questo evento l'Agenzia ha potuto organizzare molto rapidamente, già nel mese di giugno 2023, una missione di supporto che ha comportato attività di ispezione, *NDT* e training. Tale missione è stata effettuata coordinando la partecipazione di un esperto internazionale incaricato da IAEA, di due esperti provenienti dai centri di competenza regionali appena istituiti e di due esperti locali, provenienti da due università dell'Ecuador, con un approccio integrato e multi-livello che è risultato molto efficace ed efficiente.

La virtuosa esperienza messa a punto in America Latina viene attualmente sviluppata dall'accordo di cooperazione RCA³, relativo alla regione Asia e Sud Pacifico, dove è in corso dal 2019 un progetto per rafforzare e migliorare le competenze regionali nel settore *NDT* (RAS1022⁴), attualmente prorogato per il triennio 2023-2026 (RAS1029⁵). Per molti paesi dell'area sono già stati organizzati workshop ed attività di divulgazione. Si sottolinea in particolare l'efficacia di due visite scientifiche organizzate da AIPnD in Italia per tecnici Pakistani e Malesi, finalizzate a ampliare le loro competenze in merito alle applicazioni *NDT* e alla certificazione. Queste visite hanno comportato anche sopralluoghi in sito a cantieri di diagnostica e di restauro di edifici storici (Figura 5) che sono risultati molto formativi e sono stati estremamente apprezzati.

Il progetto si completerà, in analogia con quello già descritto in precedenza, con la certificazione del personale, che verrà anche in questo caso sviluppata sulla base dello schema normativo italiano, e con la costituzione di centri di competenza regionali, attivati per operare in Asia e nel Pacifico.

Conclusioni

La cooperazione tra AIPnD e IAEA ha consentito di evidenziare e valorizzare a livello internazionale le significative competenze disponibili nell'ambito nazionale italiano in

³ RCA: Regional Cooperative Agreement for Research, Development and Training Related to Nuclear Science and Technology for Asia and the Pacific.

⁴ RAS1022: Strengthening Regional Capacity in Non-Destructive Testing and Examination Using Nuclear and Related Techniques for Safer, Reliable, More Efficient and Sustainable Industries Including Civil Engineering.

⁵ RAS1029: Enhancing Regional Capabilities in Advanced Non-Destructive Testing Techniques for Improved Safety and Inspection Performance in Industries.

merito all'approccio alle ispezioni post-disastro ed all'utilizzo di tecniche *NDT* per la valutazione della stabilità delle strutture civili e dei beni culturali. In questo contesto sono state particolarmente riconosciute e apprezzate le nostre competenze nel settore dei beni culturali, che costituiscono a parere degli scriventi uno tra i principali capitali metodologici e tecnologici espressi dal nostro paese.

Il processo virtuoso attuato da IAEA con il supporto di AIPnD ha consentito di intervenire a seguito di disastri naturali e non naturali e di disseminare nei paesi di intervento conoscenze utili a migliorare il livello qualitativo dei processi di controllo, di manutenzione e prevenzione per l'intera filiera delle costruzioni.

Nel contempo, mediante progetti regionali integrati con progetti nazionali, è stato possibile costituire una rete di centri di competenza regionali, dotati di personale con capacità idonee e certificate per l'applicazione delle *NDT*, in grado di accrescere le potenzialità dei vari paesi, ma soprattutto in grado di operare con rapidità ed efficacia a seguito di disastri. Le attività di ispezione, prove non distruttive e training realizzate in sito possono essere così ottimizzate integrando le competenze di esperti internazionali, di esperti regionali che gravitano sui centri di competenza regionali e di esperti locali già formati nell'ambito dei programmi IAEA.

Bibliografia

- Guidebook on non-destructive testing of concrete structures*, 2002, Training Course Series No. 17, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- GONÇALVES L., RODRIGUES H., GASPARI F. (a cura di) 2018, *Non-destructive Techniques for the Assessment and Preservation of Historical Structures*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL
- Forensic Insights for Future Resilience, Learning from Past Disasters*, 2024, United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva.
- Nuclear Techniques for Cultural Heritage Research*, 2011, IAEA Radiation Technology Series No. 2 International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Guidelines on Training Syllabi in Non-destructive Testing for Civil Engineering (NDT-CE)*, 2024, Training Course Series No. 86, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- HAMMOUD J. 2014, *Zokak el-Blat: Urban and Architectural Evolution (1840-1940)*, Thesis, Université Libanaise, Institut de Beaux-Arts, Centre de Restauration Conservation des Sites & Monument Historiques, Tripoli
- EL HAGE J., SHAHROUR I., HAGE CHEHADE F., ABI FARRAJ F. 2023, *A Comprehensive Assessment of Buildings for Post-Disaster Sustainable Reconstruction: A Case Study of Beirut Port*, «Sustainability» vol. 15.
- Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e Agibilità per edifici ordinari nell'Emergenza post-Sismica (AeDES)*, 2014, Collana Tecnica, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Seconda edizione.
- FOPPOLI D. 2016, *Inspections and NDT for the Characterization of Historical Buildings after Seismic Events: 2012 Emilia Earthquake*, in «Proceedings of 10th International Conference Structural Analysis for Historical Constructions (SAHC 2016)», Leuven.
- D.P.C.M. 9 febbraio 2011, *Linee guida per la valutazione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle «Norme tecniche per le costruzioni» ...*, norma italiana.
- UNI/PdR 56:2019, *Certificazione del personale tecnico addetto alle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile, prassi di riferimento*, norma italiana.
- UNI 11931:2024, *Certificazione del personale tecnico addetto all'esecuzione delle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile e dei beni culturali ed architettonici*, norma italiana.
- AL-KOUSA M., HASAN H.T., ABDUL-WAHED M. 2017, *Experimental and analytical evaluation of the consolidation of tower 8 in the Damascus citadel*, «Arab J Geosci», vol. 10, No. 37.
- ROESLIN S., ELWOOD K.J., JUÁREZ-GARCÍA H., GÓMEZ-BERNAL A., DHAKAL R.P. 2018, *The September 19th, 2017 Puebla, Mexico Earthquake – Preliminary Report*, in «Proceedings of New Zealand Society for Earthquake Engineering Conference».
- SINGH S.K., LERMO J., DOMINGUEZ T., ORDAZ M., MENA E., QUAAS R. 1988, *The Mexico Earthquake of September 19, 1985 – A Study of Amplification of Seismic Waves in the Valley of Mexico with Respect to a Hill Zone Site*, «Earthquake Spectra», vol. 4, No. 4.