

Un approccio di ingegneria forense applicata alla gestione e valutazione del rischio in ambienti di lavoro con sospetta presenza di amianto

Implementazione di tecniche evolute di indagine per la gestione di aspetti di Salute in ambienti lavorativi con sospetta presenza di materiali contenenti amianto

Alessandro Lombardi¹, Salvatore Pentimalli²

^{1,2} Tecnico della Prevenzione nell'Ambiente e nei Luoghi di Lavoro

ABSTRACT

La presenza residuale di componenti critici (come i Materiali Contendenti Amianto - MCA) rappresenta ancora oggi una delle principali criticità per la Sicurezza e la Salute dei lavoratori e dei fruitori di molte strutture, tra cui le grandi strutture accessibili al pubblico.

Il primo passo per una efficace Valutazione e Gestione del rischio è chiaramente una rigorosa definizione dei diversi approcci che occorre adottare, in conformità con le normative italiane generali e speciali di sicurezza e salute, a partire da scenari in cui l'assenza di MCA può essere dimostrata, e via via nelle varie condizioni in cui si presenta il Fattore di pericolo, da dormiente, ad armato, ad attivo.

Un progetto di ricerca, incoraggiato sin dal 2008 dal Politecnico di Torino e dall'Università degli Studi di Torino, ha portato alla stesura di una Linea Guida per la sicurezza sul lavoro nelle Università e grandi strutture pubbliche, e delle sue sotto-fasi, messe a punto per fornire efficaci metodologie di approccio a varie criticità specifiche. Sia la Linea Guida, sia le sotto-parti sono state sistematicamente validate attraverso este-

si test sul campo prima della approvazione e diffusione.

Il presente lavoro riferisce sui risultati dell'applicazione, su casi reali, dell'approccio basato su metodiche di Ingegneria Forense (Canvassing), di uso generale ma particolarmente adatta alla problematica in oggetto, in combinazione con l'Analisi di Immagine, che mostrano un contributo efficace nella Valutazione del rischio e nella Gestione in qualità della sicurezza e salute. Tale approccio, inoltre, contribuisce in modo sostanziale alla transizione da metodiche ancora condizionate dal giudizio soggettivo di un osservatore umano, o dall'affidarsi a tecniche non sempre sufficientemente efficaci, verso metodi più coerenti con l'evoluzione dei sistemi produttivi fondati su controlli diretti e da remoto, con elevati livelli di digitalizzazione e automazione.

ABSTRACT (ENGLISH VERSION)

The residual presence of critical components (such as Materials Containing Asbestos - MCA) still represents today one of the main critical issues for the safety and health of workers and users of many structures, including large structures accessible to the public.

The first step for an effective Risk Assessment and Management is to found clearly a rigorous definition of the different approaches that must be adopted, in compliance with the general and special Italian safety and health regulations. Starting from scenarios in which the absence of MCA can be demonstrated, and gradually in the various conditions in which the Danger Factor occurs, from dormant, to armed, to active.

Encouraged since 2008 by the Polytechnic of Turin and the University of Turin, a project research has led to the drafting of a Guideline for safety at work in universities and large public structures, and its sub-phases, developed to provide effective methodologies in order to approaching various specific criticalities.

Both the Guideline and the sub-parts have been systematically validated through extensive field tests prior to approval and dissemination. This work reports on the results of the application, on real cases, of the approach based on Forensic Engineering (Canvassing) methods, of general use but particularly suitable for the problem in question, in combination with the Image Analysis, which show a effective contribution in Risk Assessment and in Quality Management of Safety and Health.

This approach also substantially contributes to the transition from methods still conditioned by the subjective judgment of a human observer, or from relying on techniques that are not always sufficiently effective, towards methods more consistent with the evolution of production systems based on direct controls and remotely, with high levels of digitization and automation.

TAKE HOME MESSAGE

- Il canvassing associato all'analisi di immagine costituisce un approccio che si proietta verso il futuro, in quanto permette una identificazione affidabile del fattore di pericolo e di seguire l'evoluzione della sua condizione nel corso del tempo;
- L'approccio proposto potrebbe risultare vantaggioso anche se attuato in opere di ristrutturazione che coinvolgono edifici civili e industriali, grazie alla possibilità di ottenere una maggiore esaustività delle operazioni e una documentata efficacia dell'intervento eseguito.

1. INTRODUZIONE

La nocività dell'amianto legata alla potenziale inalazione di fibre aerodisperse respirabili (2) è ampiamente nota. L'esposizione a tali fibre è responsabile di patologie gravi ed irreversibili prevalentemente dell'apparato respiratorio (asbestosi, carcinoma polmonare) e delle membrane sierose, principalmente la pleura (mesoteliomi).

Esse si manifestano dopo molti anni dall'esposizione: il tempo di latenza per l'asbestosi è di circa 10 – 15, mentre per il carcinoma polmonare ed il mesotelioma può arrivare a circa 20 - 40. (3,4).

La normativa di riferimento in materia di salute e sicurezza del lavoro oggi è rappresentata dal Decreto Legislativo n.81 del 9 aprile 2008 ed in particolare per quanto riguarda la protezione dai rischi connessi all'esposizione all'amianto si fa riferimento al capo III del Titolo IX. Questo strumento è una evoluzione normativa partita dal D.P.R. n. 303/56 che si è evoluta nel D.lgs. n. 277/91, poi nel D. Lgs n. 626/94 ed infine nel D.lgs. n. 81/2008.

Altri due riferimenti da citare in riferimento all'amianto a livello nazionale sono: Legge 257 del 27 marzo 1992: norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto, che ne vieta l'estrazione, l'importazione, l'esportazione, la commercializzazione e la produzione di manufatti in amianto, di prodotti di amianto o di prodotti contenenti amianto; D.M. del 6 settembre 1994, il quale decreta le norme relative agli strumenti necessari ai rilevamenti e alle analisi del rivestimento degli edifici, nonché alla pianificazione e alla programmazione delle attività di rimozione e di fissaggio e le procedure da seguire nei diversi processi lavorativi di rimozione previste dall'art. 12, comma 2, della legge 27 marzo 1992, n. 257, nonché le normative e metodologie tecniche per gli interventi di bonifica, previste all'art. 6, comma 3, della legge medesima.

Data l'estrema criticità legata ai MCA, la soluzione definitiva rimane la bonifica per rimozione, tuttavia la gestione dei transitori deve prevedere interventi efficaci per eliminare/minimizzare il possibile rilascio di fibre; tali interventi riguar-

dano principalmente incapsulamento e confinamento. I metodi di bonifica indicati nel DM 6-9-94, sono i seguenti:

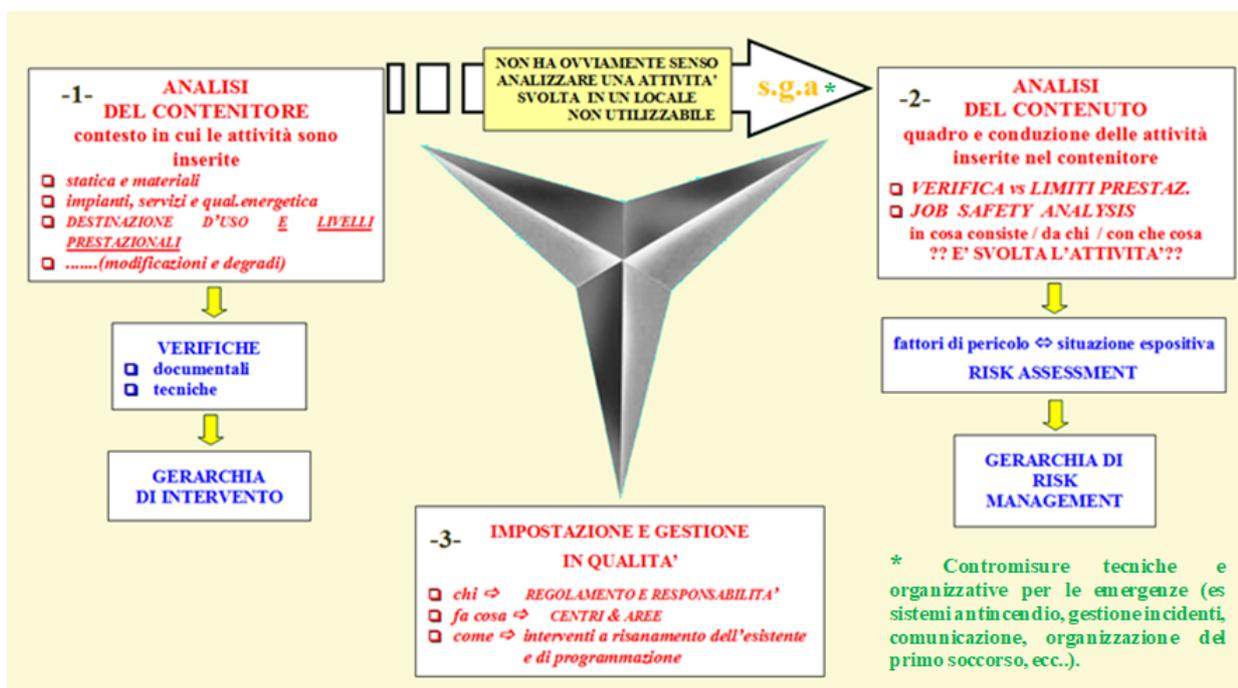
- Rimozione: è il procedimento più diffuso perché elimina ogni potenziale fonte di esposizione ed ogni necessità di attuare specifiche cautele per le attività che si svolgono nell'edificio poiché si interviene direttamente sul Fattore di Pericolo eliminandolo.
- Incapsulamento consiste nel trattamento dell'amianto con prodotti penetranti o ricoprenti che (a seconda del tipo di prodotto usato) tendono ad inglobare le fibre di amianto, a ripristinare l'aderenza al supporto, a costituire una pellicola di protezione sulla superficie esposta. Il principale inconveniente è rappresentato dalla permanenza nell'edificio del materiale di amianto e dalla conseguente necessità di mantenere attenzione su eventuali interventi dello stato delle cose ed un programma di controllo e manutenzione. Occorre infatti verificare periodicamente l'efficacia dell'incapsulamento, che col tempo può alterarsi o essere danneggiato, ed eventualmente ripetere il trattamento.
- Confinamento consiste nell'installazione di una barriera a tenuta che separi l'amianto dalle aree occupate dell'edificio. Se non viene associato ad un trattamento incapsulante, il rilascio di fibre continua all'interno del confinamento. Rispetto all'incapsulamento, presenta il vantaggio di realizzare una barriera resistente agli urti. È indicato nel caso di materiali facilmente accessibili, in particolare per bonifica di aree circoscritte (ad es. una colonna). Occorre sempre un programma di controllo e manutenzione, in quanto l'amianto rimane nell'edificio; inoltre la barriera installata per il confinamento deve essere mantenuta in buone condizioni.

Un aspetto essenziale della Sicurezza ed Igiene del lavoro e nei confronti di terzi è la corretta quantificazione delle criticità igienico ambientali sia dal punto di vista di interventi tecnici di prevenzione sia per la pianificazione della sorveglianza sanitaria. In particolar modo la identificazione di sorgenti di emissioni di amianto nelle

sue varie forme minerali, per la salute dei lavoratori e la quantificazione delle derivanti immissioni in certe situazioni può risultare decisamente difficoltosa; questo si traduce in una possibile sottostima della entità del problema.

È il caso, nello specifico, di manufatti o elementi relativamente ai quali non è ancora consolidata la conoscenza quali fattori di pericolo, e di conseguenza essi non figurano nelle liste a disposizione degli osservatori. In taluni casi anche modeste quantità di MCA possono dar luogo ad inquinamenti di entità considerevole.

Questo rilascio di fibre, causato dalla manipolazione od anche solo dal degrado dei manufatti, porta ad un aumento della concentrazione talvolta appena misurabile (1), come confermato da alcuni lavori di ricerca sulla valutazione del rilascio di fibre da manufatti soggetti a condizioni di stress (1), e risulta quindi necessario definire approcci dedicati al problema.



Obiettivo dello Studio

L'obiettivo del presente lavoro è l'implementazione di tecniche evolute di indagine per la gestione di aspetti di Salute in ambienti lavorativi con sospetta presenza di MCA. Ciò prevede la verifica sistematica degli approcci alla identificazione, valutazione e gestione al fine di migliorare la completezza dell'analisi del contenitore (Figura 1), e sfruttare ed evolvere, in qua-

lità, le loro possibilità di utilizzo. In questo modo il risultato può essere implementato tramite documenti in grado di definire compiutamente la situazione e confermare l'utilizzo di verifiche sistematiche; risultano nel contempo disponibili dati affidabili e dettagliati utili per il Risk Assessment & Management - RAM e per l'impostazione di solidi programmi di sorveglianza sanitaria.

1. In accordo con le indicazioni del D.M. 06/09/1994: *Il monitoraggio ambientale, tuttavia, non può rappresentare da solo un criterio adatto per valutare il rilascio, in quanto consente essenzialmente nel misurare la concentrazione di fibre presente nell'aria al momento del campionamento, senza ottenere alcuna informazione sul pericolo che l'amianto possa deteriorarsi o essere danneggiato nel corso delle normali attività. In particolare, in caso di danneggiamenti, spontanei o accidentali, si possono verificare rilasci di elevata entità, che tuttavia, sono occasionali e di breve durata e che quindi non vengono rilevati in occasione del campionamento.*

2. MATERIALI E METODI

2.1 Approccio adottato – le parti essenziali della “sotto-fase amianto”

Un progetto di ricerca multidisciplinare, promosso dal 2008 dal Politecnico di Torino e dall'Università degli Studi di Torino, ha portato alla pubblicazione di una Linea Guida per la Sicurezza e la Salute del Lavoro nelle Università e nelle grandi strutture pubbliche (dipendenti, studenti e persone occasionalmente coinvolte nelle attività di ricerca universitaria incluse), completato con un approccio di qualità, e in pieno accordo con le normative nazionali (Decreto legislativo 81/08, Esecuzione della direttiva quadro CEE 89/391 concernente l'attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante le loro attività).

La Linea Guida è stata ufficialmente riconosciuta nel 2011 come "un riferimento metodologico di base per la Valutazione e Gestione del Rischio Occupazionale in grandi strutture complesse" (Inter University Meeting, 6 giugno 2011) e citata come riferimento di base nell'ambito dell'accordo tra il Politecnico e l'Università degli Studi di Torino, relativo alla collaborazione per il miglioramento della Sicurezza e della Salute dei lavoratori (10 marzo 2015). Sia la Linea Guida sia le sue sotto-fasi, che coprono criticità speciali, hanno superato un processo di validazione approfondito tramite estesi test sul campo volti a verificare la fattibilità e l'eshaustività, in diverse situazioni reali, prima della loro approvazione e diffusione (5).

Una sotto-fase della Linea Guida, coerente con i principi di sistematicità, completezza e possibilità di formalizzazione, si concentra sul rischio di esposizione a fibre di amianto respirabili disperse nell'aria in luoghi di lavoro. La sotto-fase "amianto" si basa sui risultati di un sotto-progetto di ricerca (2014-2017), e copre diversi scenari, che vanno dalla conferma dell'assenza di amianto, alle varie condizioni del fattore di pericolo, da *dormiente*, a *armato*, ad *attivo* (6).

Un punto base dell'approccio della “sotto-fase amianto”, che va sottolineato sin dall'inizio, è

che non è accettabile nessuna esposizione indebita alle fibre di amianto negli ambienti di lavoro usuali; quindi, in linea con quanto suggerito nel 2013 da Health and Safety Authority -HSA (7), la “sotto-fase amianto” distingue tra:

- “amianto compatto”, materiale contenente amianto resistente a lievi abrasioni e danni e meno suscettibile di rilasciare fibre inalabili (etichettato come matrice compatta nella parte "amianto" della direttiva);
- “amianto friabile”, quando un MCA è meno resistente alle abrasioni o ai danni lievi e più suscettibile di rilasciare fibre inalabili.

Il citato documento contiene in particolare l'affermazione:

"Se i MCA sono in buone condizioni e lasciati indisturbati, è improbabile che le fibre di amianto vengano rilasciate nell'aria, e quindi il rischio per la salute è estremamente basso. Di solito è più sicuro lasciarlo dove si trova e rivedere la sua condizione nel tempo. Tuttavia, se l'amianto o i MCA si sono deteriorati, sono stati sottoposti ad azioni usuranti o se è presente polvere contaminata dall'amianto, aumenta la probabilità che le fibre di amianto in sospensione vengano rilasciate nell'aria".

Su questa base, la “sotto-fase amianto” contiene i seguenti punti chiave:

- criteri univoci per una rigorosa classificazione dei posti di lavoro in categorie ben definite in termini di condizione del fattore di pericolo amianto;
- un riferimento affidabile e ben collaudato per le fasi di: identificazione dei pericoli sia nella struttura, nei sistemi e negli spazi interni, sia nelle attrezzature di lavoro, in termini di presenza e di condizioni di conservazione di MCA e dei relativi incapsulamenti/confinamenti;
- per la Valutazione e Gestione dei Rischi finalizzate alla prevenzione delle malattie professionali delle persone potenzialmente esposte a fibre di amianto respirabile.

2.2 Criteri univoci per una classificazione organica dei luoghi di lavoro in categorie ben definite in termini di condizione del fattore di pericolo

La Tabella 1 riassume le cinque classi di attribuzione delle aree di un edificio sospette per la presenza di MCA, la classificazione di ogni area è il risultato di un accurato processo di identificazione dei pericoli. Il risultato della prima ispezione in ogni area richiede una conferma sistematica, poiché i MCA e lo stato di incapsulamento/confinamento possono peggiorare nel tempo, compromettendo l'ipotesi iniziale.

di documenti non consente di escludere con certezza la presenza di MCA, l'area dovrebbe essere inclusa nel programma di identificazione dei pericoli specifico per i MCA.

Per quanto riguarda il programma specifico di identificazione dei pericoli per MCA, la "sottofase amianto" della linea guida suggerisce il Canvassing, in grado di garantire un'indagine approfondita del pericolo, e un riferimento oggettivo per valutare l'eventuale peggioramento della situazione nel tempo (8). "L'analisi del rischio si basa su un approccio strutturato e sistematico, a partire dalla fase

Natura del pericolo	Criticità	Livelli di
<i>Assente</i>	L'assenza di MCA, risultante dalla analisi documentale, è confermata dalle indagini sul sito;	Bianco
<i>Dormiente</i>	Presenza accertata di MCA esclusivamente in una persistente situazione di matrice compatta in buone condizioni di conservazione, rigorosamente incapsulati/confinati;	Verde
<i>Armato - 1</i> <i>Transizione allo stato attivo è improbabile</i>	Presenza di MCA accertata esclusivamente in matrice compatta in buone condizioni di conservazione, localizzata in aree non di uso comune e non soggetti ad azioni di stress fisico che possono causarne il deterioramento;	Giallo
<i>Armato - 2</i> <i>Transizione allo stato attivo senza preavviso è possibile</i>	Presenza accertata di MCA esclusivamente in matrice compatta in buone condizioni di conservazione o incapsulamento/confinamento, ma sottoposte ad azioni di stress fisico che possono causarne il deterioramento;	Rosso
<i>Attivo</i>	Presenza accertata di MCA in matrice friabile, e/o incapsulamento/confinamento deteriorato.	Nero

Tabella 1: Classi di ascrizione delle aree in funzione della condizione del Fattore di pericolo presente.

2.3 Un riferimento affidabile e ben collaudato per la fase di identificazione dei pericoli sia nella struttura, nei sistemi e negli spazi interni, sia nelle attrezzature di lavoro, in termini di presenza e di condizioni di conservazione di MCA e del relativo incapsulamento/confinamento

Una prima netta distinzione tra aree può essere basata su una ricerca documentale, attraverso l'analisi del progetto originale dell'edificio e dei documenti aggiuntivi relativi a modifiche strutturali, miglioramenti e manutenzione. Occorre prestare particolare attenzione all'identificazione dell'eventuale presenza di manufatti/attrezzature mobili, mediante un controllo dell'inventario. Tuttavia, se la ricerca

di identificazione del pericolo e dell'esposizione, caratterizzata dal maggior potenziale di errori dovuto alla scarsa identificazione degli agenti/materiali pericolosi che caratterizzano il processo. Questa fase è anche una parte fondamentale della gestione in qualità del processo e dei sistemi (quindi, la revisione del processo di identificazione dei pericoli quando si verificano modifiche del sistema non dovrebbe mai essere sottovalutata)": queste considerazioni portano a verificare il possibile uso di tecniche di indagine forense (ved. ad esempio (9,10)) per la valutazione e la gestione dei rischi in materia di sicurezza e salute sul lavoro (11).

Si possono evidenziare i seguenti aspetti positivi: dell'analisi in condizioni sotto controllo.

- a) nel campo OS&H, Canvassing è particolarmente adatto per l'analisi di struttura, servizi e spazi interni di insediamenti contenenti luoghi di lavoro, e del loro contenuto non operativo;
- b) Canvassing evita di incorrere in errori dovuti alla soggettività di giudizio dell'analista, che può agire in conformità con i propri criteri preconcepi e possibilmente fuorvianti, o con liste di controllo discutibili. Su questa base, anche la raccolta di campioni di materiale per successive analisi di laboratorio (secondo il D.M. 06/09/94) diventa esaustiva;
- c) Canvassing può rendere possibile un'accurata referenziazione dei risultati, dei dettagli a seconda della qualità e dell'idoneità dei sistemi di storage e sharing disponibili. Poi, garantiscono la ripetibilità

2.4 Riferimento affidabile sulla Valutazione del Rischio e Gestione in Qualità per la prevenzione delle malattie professionali da esposizione a fibre di amianto respirabile delle persone al lavoro nelle Università e nelle grandi strutture pubbliche

La tabella 2 riassume i criteri di gestione delle diverse aree classificate. In particolare, lo status delle aree classificate Verde e Giallo (rispettivamente dormienti o armate con una comprovata improbabile transizione verso lo stato attivo) è il più difficile da confermare: coerentemente con il D.M. 06/09/94, sono necessarie ispezioni visive approfondite delle condizioni dei manufatti, ma, come discusso in (12), le misurazioni della concentrazione di fibre aerodisperse non possono fornire informazioni utili laddove non vi siano emissioni massicce derivanti da azioni di stress su MCA friabili.

Classe di ascrizione delle aree in base alla criticità	Criteri di gestione di OS&H
Bianca	requisiti di qualità generali: inoltre, nel caso dell'amianto, dovrebbe essere disponibile un registro delle attività e dei risultati, basato su documenti relativi all'area, alle attrezzature e alla storia delle attrezzature, alla mappatura aggiornata, ai risultati delle misurazioni, alla documentazione fotografica raccolta e elaborata, alle attività e procedure coinvolte, ecc.
Verde	ogni manufatto/materiale introdotto in un'area dovrebbe essere etichettato come esente da amianto per preservare le condizioni di sicurezza;
Verde	il livello verde necessita di conferma sistematica: ciò comporta ispezioni approfondite ^(NOTA 1) delle condizioni di conservazione dei manufatti, periodicamente e quando necessario, es. in risposta ad eventi che possono causare alterazioni di manufatti o sigillatura/involucro (es. vibrazioni per cause naturali o attività umane, perdite idrauliche...);
Gialla	in più in questo caso, è necessaria una conferma sistematica: in aggiunta ai criteri di conferma per l'area verde, dovrebbe essere presa in considerazione qualsiasi modifica nell'uso delle aree potenzialmente compromettente la clausola "fuori dalla portata comune e non soggetti ad azioni di stress che possono avere effetti di degradazione" e dovrebbero essere definite procedure specifiche per le attività di routine ed eccezionali in tutta l'area gialla. Tali procedure, basate su un'analisi specifica dei rischi, dovrebbero garantire che non vengano apportate modifiche alle condizioni del fattore di pericolo e in nessun caso includere attività che coinvolgono direttamente gli MCA o che ne compromettano l'incapsulamento/confinamento ^(NOTA 2) ;
Rossa	qualsiasi accesso nell'area rossa di persone, secondo la Linea Guida, è proibito prima della riclassificazione dell'area mediante rimozione dell'amianto o incapsulamento/confinamento (solo ai soggetti autorizzati è consentito di operare nella zona rossa);
Nera	la situazione in area nera, riguardante la rimozione o incapsulamento/confinamento di amianto, non è trattata dalla Linea Guida: solo ai soggetti autorizzati è consentito operare in tale area.
^(NOTA 1) indipendentemente dalla classificazione dell'area, le attività di ispezione devono essere svolte in condizioni di sicurezza conformemente alle norme generali e speciali di OS&H;	
^(NOTA 2) tali attività riguardano esclusivamente la gestione delle aree nere, non trattate dalla Linea Guida	

Tabella 2: approcci per la Gestione delle differenti aree classificate

2.5 Tecniche di Analisi di Immagine per l'identificazione dei pericoli relativi a MCA e la conferma dello stato dei incapsulamento/ confinamento di MCA nel tempo

Chiari limiti dell'approccio di ispezione visiva, sia nella prima fase di identificazione dei pericoli che nelle seguenti ispezioni volte a verificare lo stato di MCA e dei relativi incapsulamenti/ confinamenti, possono essere: a) una qualità limitata nella documentazione derivante, b) i dettagli insoddisfacenti nel confronto tra lo stato di MCA e dello stato di tenuta/stabulario nel tempo e l'eventuale soggettività di tale valutazione.

Uno speciale sotto-progetto di ricerca ha confermato il sostanziale miglioramento ottenibile grazie all'utilizzo di tecniche di *Analisi di Immagine* in termini di documentazione per gli MCA identificati, risultando in una sorta di "carta d'identità" per ogni manufatto, e in termini di riduzione della soggettività nel processo decisionale.

Per quanto riguarda l'analisi globale-sono state introdotte alcune speciali tecniche di Analisi delle Immagini, che coinvolgono acquisizioni laser-scanner delle aree indagate, e immagini digitali ad alta risoluzione dei punti di interesse identificati. Queste tecniche seguono nell'ordine, una fase di acquisizione dei dati (utilizza i cloud delle nuvole di punti acquisiti dal laser come dati di input, mantenendo la qualità delle informazioni), una fase di elaborazione cloud (le nuvole di punti non sono influenzate da distorsioni ottiche e prospettiche), una fase di raccol-

ta delle informazioni (supportata da software speciali, es Cloudcompare[®], che deriva da un'accurata sovrapposizione delle nuvole di punti dell'area studiata, registrate in tempi diversi).

Per quanto riguarda l'analisi locale di ogni MCA individuato, l'acquisizione di immagini digitali deve essere effettuata mantenendo invariati i parametri di ripresa, in particolare la lunghezza focale. Sono necessari marcatori di riferimento locale per il recupero della deformazione prospettica. L'elaborazione dell'immagine, dipende dalla qualità dell'obiettivo utilizzato e risulta fondamentale, preliminarmente all'analisi locale, per correggere sia le distorsioni dell'immagine attraverso la calibrazione delle lenti, sia per recuperare le deformazioni prospettiche. Per la raccolta delle informazioni viene confrontata ogni coppia di pixel corrispondenti delle immagini per confrontare la georeferenziazione nello stesso sistema di riferimento locale. Ogni variazione delle caratteristiche geometriche tra le immagini confrontate può essere rappresentativa di un'alterazione delle condizioni del manufatto.

In particolare, l'approccio descritto in questa sezione, basato sul Canvassing e analisi di immagine, è stato testato con applicazioni sul campo in due diversi studi, uno durante un progetto di ricerca eseguito dal Politecnico di Torino (8) e l'altro condotto per un lavoro di Tesi di Laurea in Tecniche della Prevenzione nell'Ambiente e nei Luoghi di Lavoro (13), di cui fanno seguito i risultati, mettendo in evidenza per il primo i risultati dell'analisi globale e del secondo dell'analisi locale di MCA.



Figura 1: 3D Base model dell'area test, sistema di riferimento, e posizione dei punti di interesse

3. RISULTATI

3.1 Analisi globale

Nel primo caso le ispezioni sono state programmate tenendo conto delle operazioni di sostituzione degli infissi, che coinvolgono consecutivamente sia l'area classificata (gialla), sia le aree vicine: le operazioni di rimozione e le sollecitazioni meccaniche sui punti di interesse individuati rappresentano informazioni utili per interpretare i risultati dell'analisi dell'immagine. La figura 1 mostra una schermata del modello 3D Base dell'area di test.

Elaborazione dei dati per l'analisi globale: secondo l'approccio discusso, il primo passo del Quality Management dell'area è un'analisi generale eseguita per geo-referenziare e sovrapporre le due scansioni al modello 3D. Dall'elaborazione dei dati si è visto che nessuna modifica grossolana si è verificata durante l'intervallo di tempo tra la prima e l'ultima acquisizione.



Figura 3: anta destra Finestra con presenza di mastice



Figura 4: anta sinistra finestra con presenza di mastice

3.2 Analisi locale

Si è eseguita la valutazione dei rischi utilizzando il Canvassing nel sottotetto dell'edificio di interesse per lo studio, per la presenza confermata dall'analisi documentale di MCA, organizzando la suddivisione del volume tramite la "zone elevation split" per effettuare la discretizzazione del volume. Si è deciso di condurre il sopralluogo utilizzando la tecnica di "strip search", dato che l'area è composta da un unico grande ambiente e non sono presenti pareti o elementi

Carta di identità del punto interesse		
	Immagine 1	Immagine 2
Data acquisizione	25/10/2019 – 10:00	25/10/2019 – 10:02
File originale	DSC02866.JPG	DSC02867.JPG
File regolato (deformazioni ottiche e prospettiche sistemate)	Rdf2866.tif 	Rdf2867.tif 
Note	Foto del dettaglio mastice finestra	Foto del mastice della finestra successivo alla simulazione di degrado del mastice

Figura 5: carta d'identità del punto di interesse individuato.

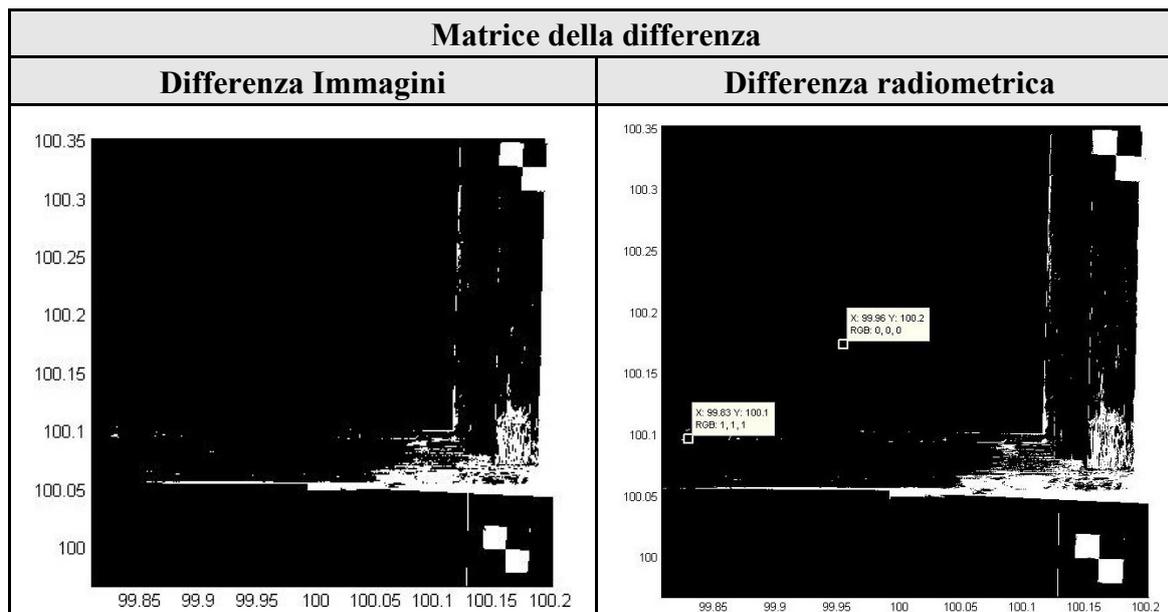


Figura 6: differenza di immagine risultata dall'algorithm.

architettonici, oltre le colonne portanti, che possono suddividere l'area di lavoro. Inoltre, al quarto piano dell'edificio, si è utilizzata la modalità di ricerca "grid search" integrata con la "zone elevation search" per non tralasciare niente; mentre per il corridoio è stata effettuata una "lane search" integrata sempre con la "zone elevation search".

All'indagine ha fatto seguito la stesura del report finale dove sono riportate le metodologie di ricerca effettuate tramite canvassing, i punti critici individuati e la classificazione delle due aree di lavoro in base alla tabella presente nella sottofase amianto. Nel caso del sottotetto la classificazione è GIALLA-Armata 1, poiché l'amianto si presenta in buone condizioni, è localizzato in una zona non sottoposta a stress dovuto ad agenti fisici e la presenza umana è presso-

ché nulla; mentre nel caso dell'ufficio al quarto piano è stata confermata in laboratorio la presenza di amianto nel mastice (Fig. 3-4) l'ambiente è classificato nero poiché l'amianto è friabile, è presente per tutta la giornata lavorativa con un'intensa attività umana e il mastice è sottoposto a frequenti stress fisici.

Si è deciso di verificare tramite la tecnica di analisi di immagine se l'utilizzo della finestra portava ad un deterioramento del mastice. Sono stati posizionati dei marker intorno al mastice ad una distanza fissa l'uno dall'altro in modo tale da avere un sistema di riferimento noto. La macchina digitale con lunghezza focale da 49 mm (Sony A7R II da 42 megapixel) è stata posizionata su un cavalletto ad un metro di distanza ed è stato scattato un primo set di foto. Successivamente,

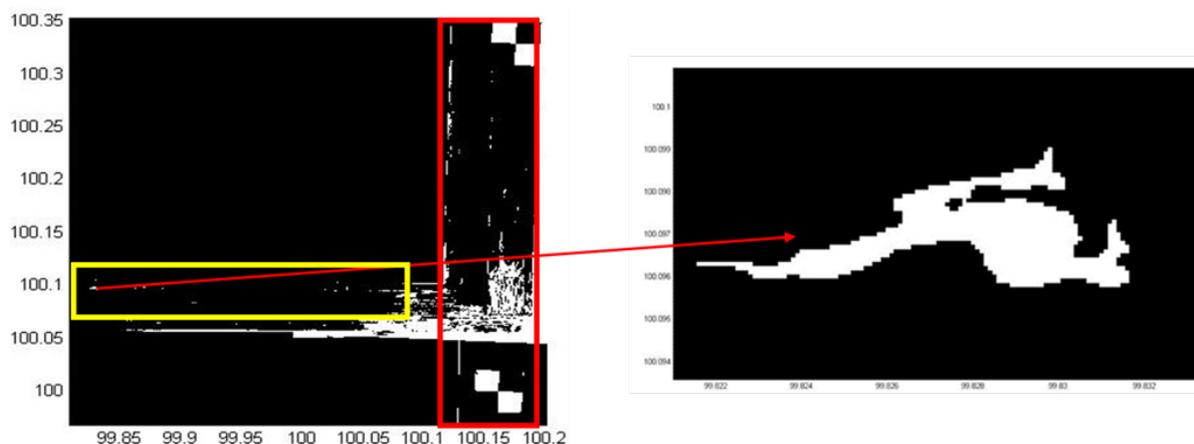


Figura 7: particolari di ingrandimento dei punti di interesse

simulando l'apertura e chiusura della finestra per sottoporla a stress fisico, e riportandola nella medesima posizione, in modo tale che risultasse alla stessa distanza di prima dalla macchina digitale, si è scattato un altro set di foto. Dopodichè sono state selezionate due foto dei diversi set e tramite diversi software è stata svolta l'elaborazione delle immagini, tra cui la correzione della distorsione dovuta all'obiettivo della macchina digitale, la trasformazione da coordinate immagine a coordinate cartografiche, in modo tale da ottenere due immagini che risultassero sovrapponibili. Il risultato di questa prima elaborazione è la "carta d'identità" del punto di interesse che può essere utilizzata in successivi controlli (Fig. 5).

Come ultimo passo tramite l'algoritmo MathWorks, realizzato dal politecnico di Torino, si sono trasformate le immagini in scala di Bianco e nero e spostata l'origine degli assi per far sì che coincida per entrambe le immagini (Fig. 6).

Infine si è creata una matrice che riporta la differenza dei valori radiometrici dei pixel delle due immagini. Il risultato finale è come si può vedere dalla Fig. 7, nella quale le zone in nero rappresentano una perfetta corrispondenza dei pixel delle due immagini, mentre le zone in bianco rappresentano una differenza di valori radiometrici (cioè differenza di colore nelle foto originali); questo indica che è avvenuta una alterazione del mastice tra una foto e l'altra. Come si può notare nella foto a sinistra (riquadro rosso) ci sono diverse zone in bianco, queste sono dovute alla diversa luminosità tra l'acquisizione tra i diversi set di foto (il che può rappresentare un limite del metodo), infatti bisogna cercare di avere sempre la stessa luminosità tra una foto e l'altra. Tramite il medesimo algoritmo utilizzo, è inoltre possibile una misura diretta del punto di interesse in modo tale da valutare sia la larghezza che la lunghezza, ad esempio nella foto a destra viene ingrandito un particolare che risulta

Miglioramenti nell'identificazione dei pericoli e nella Valutazione e Gestione dei Rischi resi possibili dall'introduzione di tecniche di analisi dell'immagine per lo stato di MCA e le condizioni di incapsulamento/confinamento, nelle aree verdi e gialle.	
L'approccio comune, basato sul giudizio soggettivo degli analisti, può risultare in una condizione del fattore di pericolo e valutazione del rischio e nella programmazione delle ispezioni non esaustive.	L'introduzione di un approccio di analisi delle immagini nella sotto-fase "amianto" della linea guida rende possibili i seguenti miglioramenti
a) scarsa completezza, in particolare quando si utilizzano liste di controllo;	a) <i>il modello di base 3D rende disponibile una completa- anche se grezza- documentazione dei risultati del Canvassing nell'area; è inoltre possibile implementare nel modello di base 3D le informazioni georeferenziate sulle posizioni in cui sono presenti MCA;</i>
b) le modifiche nella disposizione dei servizi, dei sistemi e degli spazi interni che ospitano i posti di lavoro e attrezzature non possono essere completamente notate da un'ispezione grossolana;	b) <i>il modello di base 3D fornisce uno strumento efficace per il confronto delle condizioni generali di un'area nel tempo, sia per valutazioni dirette da parte delle persone incaricate delle ispezioni, sia per confronti più dettagliati, supportati da analisi di immagine assistita da computer -Analisi Globale- della sequenza delle acquisizioni;</i>
c) scarsi risultati in termini di riconoscimento e valutazione dei cambiamenti nei MCA o nelle condizioni di incapsulamento/confinamento nel corso del tempo;	c) <i>L'Analisi Locale permette di evidenziare in modo diretto e dettagliato le variazioni localizzate di dimensioni, condizioni e forma dei MCA, dei manufatti o di incapsulamenti/confinamenti: questo è di grande aiuto per confermare o modificare, su base non soggettiva, la classificazione dell'area (in particolare dal Giallo al Rosso);</i>
d) possibili ritardi, anche inaccettabili, tra le modifiche critiche dei MCA o lo stato di incapsulamento/confinamento e le ispezioni.	d) <i>l'uso di sistemi di telecamere fisse (in particolare per l'analisi locale dei punti critici di interesse) e di registratori di dati può garantire un monitoraggio dello stato dei MCA e di incapsulamenti/confinamenti a intervalli predefiniti e/o su richiesta remota, e la configurazione di allarmi in tempo reale in cui si verificano modifiche significative, indipendentemente dal programma delle ispezioni.</i>

Tabella 3 Miglioramenti nelle fasi di Identificazione dei Fattori di pericolo e Valutazione e Gestione del Rischio apportati tramite l'implementazione di tecniche di Analisi di Immagine nella sottofase "amianto" della Linea

essere una parte di mastice che si è staccata ed è di 10mm di lunghezza e 3mm di larghezza. Il risultato che si ottiene tramite questa analisi dell'immagine, prova in modo oggettivo il degrado del mastice solo con la semplice apertura e chiusura della finestra.

4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

L'applicazione di tecniche di elaborazione e interpretazione di immagini assistite da elaboratore elettronico nella "sotto-fase amianto" a sostegno delle attività di ispezione, in particolare nelle aree verde e giallo, fornisce una storia documentata delle condizioni dei manufatti lungo il tempo, su piccola e larga scala, mettendo a disposizione "carte d'identità" dei punti di interesse, e si traduce in miglioramenti sostanziali nella gestione della qualità della sicurezza in questi settori. La tabella 3 riassume i principali miglioramenti e i possibili sviluppi futuri dell'approccio.

La "sotto-fase amianto" della Linea Guida costituisce quindi un efficace e collaudato riferimento metodologico per la Sicurezza e Salute nei luoghi di lavoro.

Risultato di uno studio multidisciplinare di ricerca volto a fornire un riferimento affidabile per la valutazione e gestione in qualità del rischio di esposizione a fibre di amianto respirabile disperse nell'aria, copre la definizione degli approcci corretti, dagli scenari di assenza confermata di MCA, alle varie modalità di pericolo, da *dormiente ad armato*, fino all'*attivo*.

Come dimostrato dai test diretti in sito, l'applicazione delle tecniche di analisi dell'immagine nell'approccio raccomandato del Canvassing per una identificazione affidabile dei pericoli e la conferma della modalità di pericolo amianto nel tempo, è fattibile e consente miglioramenti sostanziali dei risultati delle indagini, direttamente in termini di dettaglio, affidabilità e ripetibilità, e in generale per la qualità generale delle indagini e dei processi decisionali. Tale approccio potrebbe risultare vantaggioso anche se attuato in opere di ristrutturazione che coinvolgono edifici civili e industriali, grazie alla possibilità di

ottenere una maggiore esaustività delle operazioni e una documentata efficacia dell'intervento eseguito.

Secondo i risultati diretti qui discussi, ulteriori sviluppi oggi possibili nell'attuazione delle tecniche di Analisi delle Immagini per la Valutazione e Gestione dei Rischi Occupazionali contribuiranno in modo sostanziale alla transizione da approcci ancora condizionati dal giudizio soggettivo di un osservatore umano, o dall'affidarsi a tecniche non sempre esaustive, a metodi più coerenti con l'evoluzione dei sistemi produttivi verso controlli diretti e controlli da remoto, con elevati livelli di digitalizzazione e automazione.

5. RINGRAZIAMENTI

Gli autori esprimono un ringraziamento ai proff. Alberto Cina, Paolo Fargione, Mario Patrucco e al dott. Paolo Picco per il fondamentale contributo nella realizzazione del presente lavoro e della tesi di Laurea in Tecniche della Prevenzione nell'Ambiente e nei Luoghi di Lavoro di Lombardi Alessandro, discussa nella primavera del 2020.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Paustenbach D, Finley B, Lu E, Brorby G, Sheehan P. Environmental And Occupational Health Hazards Associated With The Presence Of Asbestos In Brake Linings and Pads (1900 To Present): A "State-of-the-Art" Review. *Journal of toxicology and environmental health Part B, Critical reviews*. 1 giugno 2004;7:25–80.
2. American Conference of Governmental Industrial Hygienist - ACGIH. *Threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices*. Cincinnati, Ohio; 2018.
3. INAIL - sito web [Internet]. Available at: <https://www.inail.it/cs/internet/attivita/prevenzione-e-sicurezza/conoscere-il-rischio/polveri-e-fibre/amianto.html?id1=2443085353292#anchor>

4. Sito web Assoamianto [Internet]. Available at: <http://www.assoamianto.it/patologie.htm>
5. Borchiellini R, Maida L, Patrucco M, Pira E. Occupational S&H in the Case of Large Public Facilities: a Specially Designed and Well Tested Approach. *Chemical Engineering Transactions*. 20 maggio 2015;43:2155–60.
6. Occupational Safety and Health Administration, 1991. OSHA Technical Manual. Directorate of Technical Support. ISBN: 0865872554.
7. Health and Safety Authority – HSA. Asbestos-containing Materials (ACMs) in Workplaces - Practical Guidelines on ACM Management and Abatement. Published in 2013 by the Health and Safety Authority, The Metropolitan Building, James Joyce Street, Dublin 1.
8. Cina A., Fargione P., Patrucco M., Pira E., “Occupational Risk Assessment and Management in workplaces with possible presence of Asbestos Containing Materials: the substantial contribution of Image Analysis”. *GEAM - Geoingegneria Ambientale e Mineraria*. Rivista dell'Associazione Georisorse e Ambiente. Anno LVI, n.2, agosto 2019 (157).
9. International Association of Chiefs of Police and the Federal Law Enforcement Training Center, 2010. *Crime Scene Search Study Guide Part II*.
10. Miller, M., T. An Introduction to Crime Scene Investigation. Aric W. Dutelle. In *Investigative Sciences Journal*. 2011;3(2).
11. Borchiellini, R., Fargione, P., Maida, L., Patrucco, M., Piantanida, P., Pira, E. *GEAM, geoingegneria ambientale e mineraria*, Anno LIII. Forensic Investigation techniques contribution in the Occupational Safety & Health Risk Assessment and Management. agosto 2016;16(2):33–42.
12. Fargione P., Nebbia R., Patrucco M. *GEAM, geoingegneria ambientale e mineraria*, Anno LVI. The role of the airborne asbestos fibers measurement in the classification of working environments: the case of Large Public Facilities. aprile 2019;(1):55–62.
13. Alessandro Lombardi. Implementazione di tecniche evolute di indagine per la gestione di aspetti di Salute in ambienti lavorativi con sospetta presenza di materiali contenenti amianto. Tesi di Laurea in Tecniche della Prevenzione nell’Ambiente e nei Luoghi di Lavoro, Università Di Torino. 2020. Relatore: prof. Mario Patrucco.

7. RIFERIMENTI NORMATIVI

D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81 - TESTO UNICO SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO

Direttiva 89/391/CEE del Consiglio, del 12 giugno 1989, concernente l'attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro

DECRETO MINISTERIALE 6 settembre 1994 - Normative e metodologie tecniche di applicazione dell'art. 6, comma 3, e dell'art. 12, comma 2, della legge 27 marzo 1992, n. 257, relativa alla cessazione dell'impiego dell'amianto.

Legge 27 marzo 1992, n. 257 - Norme relative alla cessazione dell'impiego dell'amianto