

SAFAP 2018

SICUREZZA E AFFIDABILITA' DELLE ATTREZZATURE A PRESSIONE

La gestione del rischio dalla costruzione all'esercizio a 130 anni dalla prima legge sulla sicurezza delle caldaie a vapore

INAIL

Bologna - 28 e 29 novembre 2018

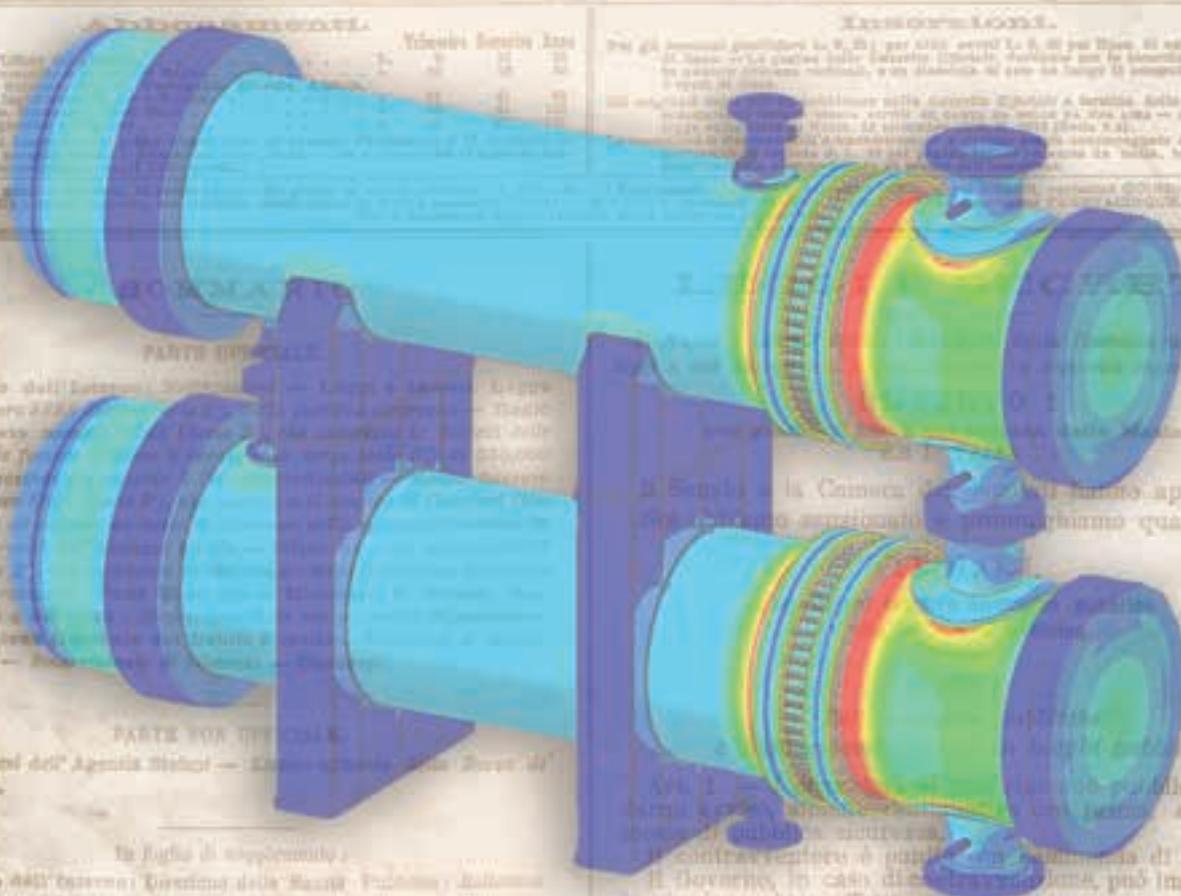
GAZZETTA UFFICIALE

DEL REGNO D'ITALIA

ANNO 1888

ROMA — SABATO 29 GENNAIO

N.° NUM. 22



PARTE UFFICIALE

MINISTERO DELL'INTERNO

Monitoraggio e gestione dei meccanismi di deterioramento di attrezzature in pressione attraverso un approccio ontologico

M.F. Milazzo¹, S.M. Ansaldi², P.A. Bragatto², T. Di Condina³, F.M. Zanzotto³

¹ Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Messina

² Inail - Dit

³ Dipartimento di Ingegneria d'Impresa, Università di Roma Tor Vergata

Sommario

Le attrezzature industriali in pressione, destinate al contenimento o alla conversione di sostanze pericolose, e i loro componenti sono soggetti a fenomeni di invecchiamento che, nel corso del tempo, possono influenzare i livelli di sicurezza dell'intero stabilimento in quanto aumentano il rischio di perdita di contenimento e riducono la performance dell'intero impianto. L'invecchiamento si manifesta come una forma generale di degrado del componente, che non è associata solo al tempo in servizio ma alla sua condizione e a come esso cambia nel corso del tempo. I meccanismi più comuni, con cui le attrezzature deteriorano, rappresentano una percentuale significativa di guasti e di sostituzioni di componenti. Tuttavia, il deterioramento si verifica anche a causa di molti altri fattori associati ad aspetti di progettazione, di gestione, etc. La conoscenza dei meccanismi con cui avviene il fenomeno (ovvero delle relazioni "causa-effetto", "condizioni al contorno-velocità di propagazione" ed "identificazione-misura") e delle misure di prevenzione sono utili al fine di monitorare il deterioramento delle attrezzature e di attuare una gestione sicura del fenomeno. In questo articolo, si propone un approccio di esplorazione di tali relazioni basato su una interpretazione ontologica dei meccanismi di deterioramento, con l'obiettivo di supportare il monitoraggio dell'invecchiamento di attrezzature e componenti industriali. Per raggiungere l'obiettivo, l'approccio proposto utilizza i concetti e le relazioni già definite per i più comuni meccanismi, cui sono soggetti le attrezzature, all'interno della pratica americana API 581. Detti meccanismi verranno definiti attraverso dei domini ontologici.

1. Introduzione

La gestione dell'invecchiamento delle attrezzature è un aspetto di grande interesse e attualità, in particolare per le attrezzature destinate al contenimento o alla conversione di sostanze pericolose. La rilevanza di questa problematica è da imputare a due principali fattori: (i) la maggior parte degli impianti in Europa sta raggiungendo l'età limite di funzionamento definita in fase di progettazione; (ii) la Direttiva Seveso III, recepita dal d.lgs. 105/2015, chiede ai gestori di stabilimenti a rischio d'incidente rilevante di adottare un piano di monitoraggio e controllo delle attrezzature per assicurarne un invecchiamento sicuro. L'invecchiamento degli impianti, che si manifesta come una forma generale di deterioramento associato al loro utilizzo [1], è stato identificato in molti casi come causa prima di rilasci di sostanze pericolose e di incidenti rilevanti [2-4]. In generale, il deterioramento rappresenta una percentuale significativa delle cause di guasto o rottura di componenti. Il deterioramento è dovuto a interazioni chimiche e fisiche fra i materiali di cui sono costituiti recipienti e tubazioni, le sostanze chimiche contenute e l'ambiente esterno. I meccanismi di deterioramento possono essere controllati da molti fattori, associati ad aspetti di progettazione, di gestione, etc. [5]. Ai fini della gestione sicura del fenomeno nell'industria chimica e petrolifera, una pratica molto diffusa è l'adozione di uno schema *Risk Based Inspection (RBI)*, fra i quali quello API RP 580 [6]. La RBI si basa sulla conoscenza dei fenomeni di deterioramento concorrenti (che possono essere di tipo fisico e chimico),

dalla gestione delle informazioni relative ad ogni singolo componente e alla sua storia, dalla misurazione appropriata e dall'acquisizione di variabili legate al fenomeno in atto. La conoscenza dei meccanismi con cui si manifesta il fenomeno rappresenta il cuore del processo di gestione; di ognuno occorre conoscere le relazioni tra causa ed effetto, tra condizioni al contorno e velocità di propagazione e tra identificazione del fenomeno e misura effettuata ed infine, un'ulteriore conoscenza indispensabile è quella relativa alle misure di prevenzione, che sono utili al fine di monitorare il deterioramento dell'impianto e attuare la strategia di gestione. Allo stato attuale esiste una conoscenza dettagliata dei meccanismi presenti dell'industria petrolifera, che sono riportati nella documento API RP 571 [7], mentre in altri contesti la conoscenza può non essere completa, in particolare in relazione a nuovi materiali, nuovi processi, etc. Il documento [7] contiene la descrizione dettagliata di almeno 64 meccanismi di deterioramento, la cui conoscenza deve essere trasferita al gestore per una appropriata definizione del piano di gestione dell'invecchiamento. Al fine di trasferire le conoscenze già acquisite sui meccanismi di danno all'interno di un sistema di monitoraggio dell'invecchiamento di attrezzature e componenti industriali, in questo articolo, si propone un approccio che esplora le relazioni sopra menzionate, basandosi su una interpretazione ontologica dei meccanismi di deterioramento.

Le ontologie [8, 9] all'interno del Semantic Web [10] sono una recente tendenza per la rappresentazione sistematica della conoscenza e delle informazioni che può giocare un ruolo relevantissimo nella descrizione coerente dei fenomeni di degradazione. Le ontologie sono un meccanismo che prende spunto da due tradizioni differenti sempre atte a rappresentare in maniera sistematica un dominio conoscitivo: la terminologia da una parte e la logica. La terminologia [11] ha una lunghissima tradizione per la costruzione di dizionari controllati per la realizzazione e il controllo di manufatti complicati. Infatti, si può dire che la terminologia è nata con la prima rivoluzione industriale nella quale le persone si dovevano accordare sul significato delle parole per ottenere dei manufatti "compatibili" tra loro come la costruzione di rotaie e treni compatibili o per scrivere dei manuali per il controllo di oggetti complicati come le centrali termonucleari. La variazione linguistica incontrollata può infatti generare numerose incomprensioni. L'unione tra la terminologia e la logica ha generato il concetto di ontologie che sono dei manufatti logici utili per il controllo sistematico della conoscenza all'interno di un dominio conoscitivo anche ad uso e consumo di processi di decisione automatica attraverso calcolatori.

Scopo principale del lavoro è collegare i meccanismi di deterioramento ai parametri di monitoraggio dell'apparecchiatura con un approccio ontologico. I meccanismi di danno sono associati alle tipologie di attrezzatura, ai processi ed alle condizioni operative. I sistemi di monitoraggio possono essere strumenti di misura convenzionale, che forniscono dati solo su lunghi intervalli di tempo, o strumenti più innovativi, che forniscono dati in maniera continua. La chiara organizzazione conoscitiva dei due mondi (deterioramento e monitoraggio) permette di sfruttare efficacemente le risorse rese disponibili dagli sviluppi della ricerca nel campo della sensoristica. Questo è importante nella fase progettuale, dove vanno fatte le scelte tecnologiche; ma può anche costituire l'ossatura su cui costituire l'architettura della piattaforma gestionale che in esercizio permette l'integrazione dei sistemi. Il lavoro è strutturato come segue. Nella sezione 2 si descrivono brevemente i criteri di classificazione di meccanismi di deterioramento e di sensori, ovviamente le due classificazioni sono strumentali all'applicazione prettamente ingegneristica che se ne vuol fare, cioè la gestione nel tempo dell'integrità degli impianti. Nella sezione 3 si riporta una descrizione sintetica del caso studio a cui si applicherà il metodo. Nella sezione 4 sono illustrati i risultati e la relativa discussione. Infine, nella sezione 5 si riportano le conclusioni.

2. Metodo

Nel 2018, il Coordinamento Nazionale per l'applicazione della Direttiva Seveso, di cui all'art. 11 d.lgs. 105/2015, ha pubblicato una linea guida per la valutazione dell'adeguatezza del programma di gestione dell'invecchiamento delle attrezzature negli stabilimenti Seveso, come richiesto dal citato decreto (art. 27, allegato H, appendice 3). Il cuore della linea guida è un modello per la valutazione sintetica, denominato *FishBone model*. Esso si basa su: (i) l'identificazione di un certo numero di fattori, che influenzano l'invecchiamento delle attrezzature, (ii) la loro classificazione in fattori acceleranti o ritardanti, in funzione del loro effetto, (iii) l'attribuzione di un punteggio su una scala da 1 a 4 per ogni fattore (negativo per quelli acceleranti e positivo per i frenanti) e (iv) il calcolo dell'indicatore di invecchiamento come media tra i fattori. I fattori identificati dal gruppo di lavoro (GdL) sono:

- *Fattori acceleranti*: l'età di costruzione o le ore di esercizio, il numero di fermate impreviste, i guasti, gli incidenti e i quasi incidenti, i danneggiamenti e i meccanismi di deterioramento;
- *Fattori frenanti*: il sistema di gestione delle ispezioni, gli audit sulla gestione della sicurezza, la pianificazione e i risultati delle ispezioni, l'efficacia e l'appropriatezza delle ispezioni, i sistemi di controllo e i rivestimenti e protezioni specifiche.

La trattazione dei diversi fattori, dei relativi criteri di valutazione e dei punteggi non è obiettivo del presente articolo e si rimanda alla linea guida ed alla letteratura scientifica che documenta lo sforzo fatto dal GdL che ha sviluppato la linea guida [12]. In generali si può dire che i 12 punti considerati, 6 frenanti e 6 acceleranti, coprono vari fattori che comprendono quelli direttamente fisici, fra i quali guasti, danneggiamenti, rivestimenti, sistemi di controllo e quelli più indiretti ma non meno importanti, quali la gestione delle fermate, la pianificazione delle ispezioni, l'analisi dei quasi incidenti, la gestione della sicurezza verificata dagli audit obbligatori. Nel contesto del presente articolo si approfondisce solo il fattore "meccanismi di deterioramento", che fa riferimento ai meccanismi fisici e chimici [7] con cui il fenomeno si manifesta e dei quali il gestore dovrebbe avere una buona conoscenza. I prerequisiti, per valutare questo fattore, sono la conoscenza di tutti i possibili fenomeni e le informazioni esatte sui materiali (passate e presenti) e sulle condizioni operative dell'attrezzatura. Il fattore deriva dalla combinazione di tre sub-fattori principali, cioè la *rilevabilità*, la *velocità di propagazione* e le *conseguenze* causate dal fenomeno all'attrezzatura. Il fattore risultante è la media dei punteggi associati ai singoli sub-fattori, identificati come segue:

- *Rilevabilità* - Il punteggio è più alto quando è più difficile rilevare e misurare gli effetti del fenomeno. Le difficoltà derivano principalmente dalla strumentazione di misura richiesta e dai costi associati, dall'affidabilità e ripetibilità delle misure. Ulteriori difficoltà possono derivare da aspetti organizzativi e metodologici relativi alla misura.
- *Velocità di propagazione* - Essendo i controlli eseguiti a intervalli di tempo fissi, se i fenomeni fisici e chimici sono veloci, c'è la possibilità che essi siano inizialmente invisibili e diventare significativi prima della successiva ispezione. Il punteggio fa riferimento alla scala temporale di evoluzione del fenomeno.
- *Conseguenze* - Il punteggio si assegna facendo riferimento alla pericolosità della sostanza contenuta nell'apparecchiatura e all'entità del rilascio.

Nell'ambito del progetto SmartBench, il *FishBone model* è stato integrato in un sensore virtuale per la valutazione dell'invecchiamento delle attrezzature, basato su modelli di stima del tempo di vita rimanente e della probabilità di guasto. Il modello integrato costituisce il cosiddetto *presensore* (livello 1), che può acquisire dati da una piattaforma di interscambio di dati con altri dispositivi IoT oppure funzionare indipendentemente da essa attraverso inserimento manuale delle informazioni. Il funzionamento del *presensore* in modalità agganciata alla piattaforma richiede che siano *filtrate* le informazioni in essa archiviate, al

fine di acquisire quelle necessarie per l'elaborazione del fattore "meccanismi di danno" da includere nell'indice di invecchiamento. Il tutto è possibile attraverso la descrizione sistematica di ogni meccanismo fornita dalle ontologie specifiche di dominio.

2.1. Classificazione dei meccanismi di danno

I meccanismi di danno delle attrezzature sono numerosi ed esistono diverse classificazioni, a partire dal citato documento API RP 571 [7] e la "pratica raccomandata" API 581 [13], che ha lo scopo di specificare le basi conoscitive e metodologiche per l'applicazione sistematica dell'approccio RBI. Nel documento RR823 [2] dell'HSE (Autorità Competente della Seveso per il Regno Unito) si può trovare una classificazione simile alle API, che appare meno legata alle specificità del mondo petrolifero. La linea guida del GdL per la verifica dei piani di monitoraggio e controllo delle attrezzature li classifica tenendo conto degli effetti sui materiali, sulla base della velocità di propagazione, delle conseguenze del fenomeno e della rilevabilità del fenomeno.

Le classi in questione sono le seguenti:

1. Metallurgico a lungo termine
2. Metallurgico a breve termine
3. Meccanismi di assottigliamento localizzati
4. Meccanismi di assottigliamento uniforme
5. Corrosione dovuta all'ambiente
6. Tensocorrosione con fessurazione
7. Danneggiamento da idrogeno ad alta temperatura
8. Fatica
9. Scorrimento viscoso
10. Corrosione sotto isolamento

2.2. Interpretazione ontologica dei meccanismi di danno

L'ontologia del meccanismo di danno è un'interpretazione semantica del meccanismo stesso, che è stata sviluppata per supportare lo scambio di informazioni tra due sistemi [14], in questo lavoro consente la modellazione del fattore accelerante relativo ai meccanismi di danno. Il primo sistema misura le variabili fisiche e chimiche, associate all'apparecchiatura, mentre il secondo analizza ed elabora le informazioni acquisite per restituire il sopraccitato fattore. I meccanismi di danno descritti in [7] sono stati analizzati per estrarre i concetti e le relazioni pertinenti alla loro gestione. Il metodo che è stato adottato è quello di esaminare il report relativo ad ogni meccanismo di danno, cercando di rispondere ad una sequenza di domande per ciascuno di essi (Tabella 1). Ogni domanda corrisponde all'individuazione di una relazione tra due o più concetti (dette *classi*).

Facendo riferimento alla Tabella 1, la risposta alla domanda 1 corrisponde all'identificazione della classe di appartenenza del meccanismo tra quelle descritte nella sezione precedente (*Type*). Un meccanismo di danno può essere causato da uno specifico fattore (o evento), per esempio la corrosione sotto coibentazione è indotta dalla presenza di acqua sotto all'isolamento, oppure da molteplici fattori combinati fra loro, ad esempio la corrosione dei metalli a contatto con il suolo (*soil corrosion*) è determinata dal tipo di terreno (umidità, resistività, capacità di drenaggio), dalle condizioni dell'attrezzatura (protezione catodica applicata, tipo di rivestimento, età) e dal tipo di gestione adottata (temperatura operativa, drenaggio corrente vagante). La definizione di tali fattori (*Reason*) consente di rispondere alla domanda 2. La domanda 3 evidenzia gli effetti che il meccanismo di danno produce sull'attrezzatura (*Effect*). Ad esempio, il meccanismo *soil corrosion* appare come un assottigliamento con perdite localizzate (*localized loss in thickness*) dovute alla vaiolatura (*pitting*). La domanda 4 individua le tipologie di attrezzatura che possono essere interessate

dai meccanismi di danno analizzati (*Affect*), a questo proposito è stata utilizzata una classificazione generale per le attrezzature, che include: colonna, condotta, serbatoio, scambiatore, reattore e tubazione. La domanda 5 (*Prevention*) individua le misure di prevenzione che si possono adottare per prevenire il meccanismo di danno; esse potrebbero essere di tipo fisico (rivestimenti, protezioni catodiche), di processo (ridurre la velocità del fluido, aumentare la pressione di aspirazione) e di gestione (programmi di manutenzione). Le domande 6, 7 e 8 riguardano la capacità di valutare il fenomeno in modo quantitativo, cioè di individuare cosa misurare (*What to measure*), con quale metodo (*How to measure*) e come farlo (*Measurement*). Ad esempio, lo spessore del materiale è oggetto di misura per individuare vari tipi di meccanismi di danno (quali erosione, corrosione, cavitazione, corrosione sotto coibentazione, solforazione). I metodi per misurare lo spessore variano dall'esame visivo da parte di un esperto, all'utilizzo di tecniche sofisticate (quali ultrasuoni, raggi X, etc.). Oltre alla individuazione del meccanismo di danno, è anche importante conoscere la sua velocità di propagazione (*Propagation*), cioè sapere se ha un tempo di diffusione breve o lungo, ovvero se è dell'ordine di settimane, mesi o anni. Infine si individuano le conseguenze di ciascun meccanismo di danno (*Consequence*), evidenziando le possibili dipendenze fra di loro (*Depend on*). Tali conoscenze consentono di rispondere alle domande 9, 10 e 11.

Domanda	Relazione
1. Appartiene ad una classe più generale di meccanismi di danno?	Type
2. Quali fattori determinano il meccanismo di danno?	Reason
3. Quale effetto produce?	Effect
4. Quale tipo di attrezzatura può essere interessata dal meccanismo?	Affect
5. Quali sono le misure fisiche di prevenzione?	Prevention
6. Che cosa si misura per individuare il meccanismo?	What to measure
7. Come si misura?	How to measure
8. Quale tipo di misura adottare?	Measurement
9. Qual è il tempo di propagazione del meccanismo?	Propagation
10. Quali conseguenze può provocare il meccanismo di danno?	Consequence
11. Da quali modalità dipende il meccanismo di danno?	Depend on

Tabella 1. Individuazione delle relazioni tra classi

L'idea dell'applicazione dell'approccio ontologico è di mettere assieme competenze e conoscenze diverse relative ai meccanismi di danno, fra cui quelle fisico-chimiche sul deterioramento dei materiali, quelle meccanico-elettroniche su tecnologie di misura ed il loro interfacciamento, quelle impiantistiche su attrezzature, processi, sostanze e pericoli, quelle gestionale sui flussi informativi e documentali. Nella Figura 1 si è tentato di rappresentare in modo grafico quest'idea. I diversi argomenti che concorrono alla gestione dell'invecchiamento sono discipline tutte già consolidate e organizzate in modo strutturato, di solito attraverso tassonomie, cioè strutture gerarchiche. Queste strutture sono adeguate per approfondire gli argomenti singoli, ma devono essere collegate una con l'altra. Lo sviluppo logico di queste connessioni porta a dare una dimensione in più alla conoscenza, rappresentabile solo attraverso grafi più complessi, tipici appunto dell'ontologia.

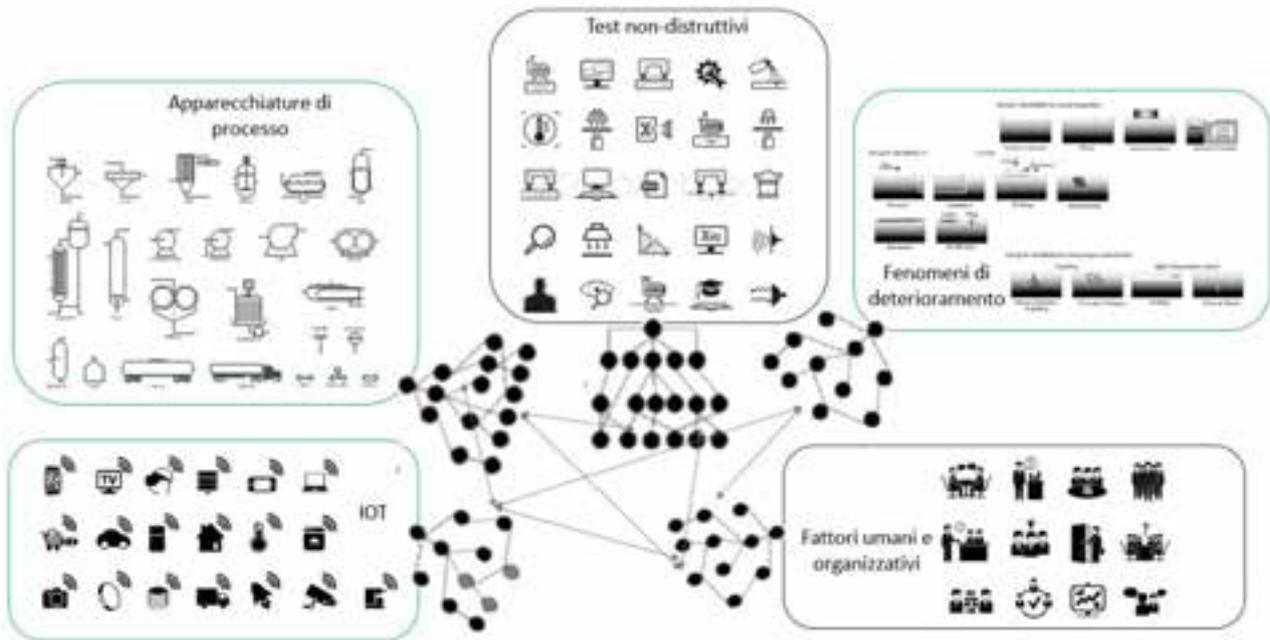


Figura 1. Rappresentazione grafica dell'informazione ontologica sui meccanismi di danno

2.3. Classificazione dei sensori

Il monitoraggio “connesso all’invecchiamento” deve tenere conto dei processi che regolano la vita dei componenti/sistemi, che dipendono dal tipo di componenti e dalle condizioni operative dei materiali [15]. Il monitoraggio può essere effettuato in modo indiretto o diretto. Nel primo caso si monitorano i parametri di esercizio, che dovrebbero rimanere entro intervalli virtualmente invariati durante l'intera vita dell'impianto. Da questi si deducono, con un ampio margine di incertezza, le condizioni di danno cumulate. Nel secondo caso si monitorano i processi di danno, cioè i parametri i cui valori cambiano con il tempo in servizio. Le soluzioni tecniche disponibili controllano principalmente i fenomeni di assottigliamento (ad es. sensori fissi ad ultrasuoni UT) e di deformazione (ad es. estensimetri capacitivi o trasduttori di spostamento). Occorre poi aggiungere che anche una serie ordinata di risultati di ispezione potrebbe essere considerato anche “monitoraggio”. Si possono considerare tre tipi di monitoraggio diretto: (i) il monitoraggio vero e proprio con sensori applicati sulle attrezzature che comunicano con continuità le misure con wireless ad un centro di controllo (on-line); (ii) quello con strumentazione di tipo commerciale, che può essere utilizzata dall'operatore a intervalli programmati (off-line), che possono essere ridotti; (iii) quello completamente off-line con interventi più o meno invasivi, che vengono eseguiti ad impianto fermo, in quest'ultimo caso il termine “monitoraggio” è senz'altro forzato, perché l'intervallo fra due misurazioni non può essere ridotto al disotto dell'intervallo fra le fermate.

La Tabella 2 riporta un quadro sintetico delle principali tecniche di monitoraggio diretto, sia di tipo discreto che continuo. Inoltre, esistono sensori classificati come “avanzati”, che sono prevalentemente prototipi di ricerca, ad esempio i sensori ad emissioni acustiche (EA). La principale classificazione delle tecniche è in *non-distruttive* e *distruttive*. Quelle on-line sono classificate in base a dimensioni, energia richiesta, periodicità di campionamento, tempo di risposta, parametri misurabili, soglie di attenzione e grado di incertezza associato alla misura. I sensori off-line (inclusi controlli non distruttivi e campionatori) sono caratterizzati da pesi, dimensioni ed energia richiesta considerevoli; inoltre essendo richiesto l'intervento umano i parametri vengono forniti con periodicità addirittura annuale o pluriennale con lunghi tempi di risposta. Al contrario la sensoristica innovativa (on-line) è caratterizzata da pesi, ingombri ed energie ridottissime, mentre i tempi di risposta sono immediati (minuti o

secondi). L'accuratezza della sensoristica innovativa può essere anche più bassa rispetto a quella convenzionale, in alcuni casi l'integrazione di misure accurate su base pluriennale può costituire una forma di monitoraggio particolarmente efficace. Va stressato che nei casi di monitoraggio combinato, piuttosto che di una soglia di attenzione, si avranno delle regole più complesse di combinazione dei parametri diversi.

Tecniche non distruttive di monitoraggio (anche on-line)	Tecniche non distruttive di monitoraggio (solo off-line)	Altre Tecniche
UT – monitoraggio con ultrasuoni	VT – esame visivo	MeT – esame metallografico con repliche
VM – monitoraggio vibrazioni	VTE – endoscopio	MST - esame metallografico su campioni di materiale
DM – monitoraggio spostamento	ET – correnti vaganti	
SM – monitoraggio deformazione	PT – liquidi penetranti	
AE – monitoraggio con emissioni acustiche;	DiM – misurazioni dimensioni	
GW – monitoraggio con onde guidate	RX – radiografia	
	IR – termocamera all'infrarosso	

Tabella 2. Classificazione delle tecniche di monitoraggio

3. Caso-studio

L'approccio ontologico è stato dunque applicato per una analisi parziale del documento descrittivo dei meccanismi di danno del progetto SAFELIFE-X [16]. Questa analisi ha permesso la generazione di una porzione di ontologia, che è rappresentata in Tabella 3 e in Figura 1 relativamente al meccanismo di danno *corrosione da suolo*. In questa porzione di ontologia si possono osservare le classi e le istanze e le relazioni tra le classi e tra le istanze.

Classe	Relazione	Classe
<i>Event</i> (corrosione da suolo)	<i>Type</i>	<i>Event</i> (assottigliamento)
<i>Event</i> (corrosione da suolo)	<i>Effect</i>	<i>Event</i> (assottigliamento localizzato AND pitting)
<i>Event</i> (corrosione da suolo)	<i>Affect</i>	<i>Physical Equipment</i> (condotta interrata OR serbatoio interrato OR fondo di serbatoio di stoccaggio)
<i>Event</i> (corrosione da suolo)	<i>Prevention</i>	<i>Physical Prevention</i> (rivestimento AND protezione catodica)
<i>Event</i> (corrosione da suolo)	<i>What to measure</i>	<i>Measure</i> (resistività suolo)
<i>Measure</i> (resistività del suolo)	<i>How to measure</i>	<i>Physical Dimension</i> (potenziale suolo)
<i>Physical Dimension</i> (potenziale del suolo)	<i>Measurement</i>	<i>Physical device</i> (elettrodo)
<i>Physical Prevention</i> (protezione catodica)	<i>Measurement</i>	<i>Method</i> (NACE RP 0169)

Tabella 3. Relazioni estratte tramite esame del documento SAFELIFE-X [17]

Le classi rappresentate sono: Evento (*Event*), Misura (*Measure*), Grandezza fisica (*Physical Dimension*), Dispositivo (*Physical Device*), Apparecchiatura (*Physical Equipment*), Tempo (*Time*) e Metodo (*Method*). Mentre le istanze rappresentate sono indicate tra parentesi subito dopo le classi nella Tabella 3, ad esempio corrosione da suolo è un tipo di Evento (*Event*). Nella stessa tabella sono rappresentate le relazioni: Tipo (*Type*), Effetto (*Effect*), Agisce su (*Affect*), Previene (*Prevention*), Cosa Misura (*What to Measure*), Come Misura

5. Conclusioni

L'attività di monitoraggio delle condizioni degli impianti, in relazione ai diversi possibili meccanismi di deterioramento, è essenziale per garantire che non aumenti il rischio di rotture o guasti dei sistemi di contenimento primario negli anni, con potenziali conseguenze rilevanti per i lavoratori, l'ambiente e le strutture. Per organizzare e verificare il "monitoraggio" occorre mettere assieme competenze e conoscenze diverse, fra cui quelle fisico-chimiche sul deterioramento dei materiali, meccanico-elettroniche su tecnologie di misura ed il loro interfacciamento, impiantistiche su attrezzature, processi, sostanze e pericoli, gestionale sui flussi informativi e documentali. Ognuno di questi mondi ha propri linguaggi, conoscenze ed esperienze, organizzate e rappresentate secondo specifiche tassonomie consolidate. Mettere assieme queste tassonomie e pervenire ad una visione d'insieme non è semplice, anche perché alle loro spalle ci sono linguaggi e culture diverse. Un piccolo esempio della necessità di integrazione viene proprio dal metodo *fishbone* che, pur con grande semplicità, riconduce questi aspetti ad una valutazione unica. Nella letteratura attuale si osserva che un certo sforzo di intreccio delle diverse tassonomie è stato fatto, in particolare con le linee guida API RP 581. I risultati non sono comunque di facile comprensione e coprono solo parte dei problemi. L'approccio ontologico ha una forza straordinaria nel mostrare come un insieme unico le diverse conoscenze. Le singole tassonomie diventano delle proiezioni della conoscenza complessiva, rappresentata dall'ontologia su dimensioni di rango inferiore. Sfruttando le tecnologie cognitive si può anche guidare l'organizzazione logica della conoscenza partendo dai singoli documenti e procedendo per induzione, al contrario dell'approccio tassonomico convenzionale, che è invece di tipo deduttivo. Questo vantaggio non è solo un ausilio per lo studio e la comprensione dei problemi, ma può diventare anche modello logico da riportare nella struttura dati condivisa, attorno alla quale sviluppare una piattaforma di lavoro condiviso, come è appunto obiettivo del progetto Smartbench [18].

6. Ringraziamenti

Il lavoro è stato finanziato da Inail nell'ambito del bando BRIC/2016 ID=15, progetto "SMARTBENCH"

7. Bibliografia

- [1] Wintle J., Moore P., Henry N., Smalley S., Amphlett G. (2006). *Plant ageing. Management of equipment containing hazardous fluids or pressure*. Health and Safety Executive Report no. RR509. Accessed on the 18-07-2018: <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr509.pdf>
- [2] Horrocks P., Mansfield D., Thomson J., Parkerv K., Winter P. (2010). *Plant Ageing Study Phase 1 Report*. Health and Safety Executive Report no. RR823. Accessed on the 18-07-2018: <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr823.pdf>
- [3] European Commission Joint Research Centre JRC (2013). *Corrosion-Related Accidents in Petroleum Refineries*. EU JRC Report no. EUR 26331 EN.
- [4] Organisation for Economic Cooperation and Development OECD (2017). *Ageing of hazardous installations*. OECD Environment, Health and Safety Publications - Series on Chemical Accidents, no. 29.
- [5] Bragatto P., Milazzo M.F. (2016). *Risk due to the ageing of equipment: Assessment and management*. Chemical Engineering Transactions, 53: 253-258.
- [6] American Petroleum Institute API (2016). *Risk-based Inspection. API Recommended Practice 580*. Third Edition. Washington, USA.

- [7] American Petroleum Institute API (2011). *Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry. API Recommended Practice 571*. Second Edition. Washington, USA.
- [8] Wright S.E., Budin G. (1997). *Handbook of Terminology Management*. Volume 1, John Benjamins Publishing Company, Amsterdam, The Netherland.
- [9] Wright S.E., Budin G. (2001). *Handbook of Terminology Management*. Volume 2, John Benjamins Publishing Company, Amsterdam, The Netherland.
- [10] Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O. (2001). *The Semantic Web*. Scientific American, 284 (5): 34-43.
- [11] Gruber T.R. (1995). *Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing*. International Journal of Human-Computer Studies, 43(5-6): 907-928.
- [12] Bragatto P., Delle Site C., Milazzo M.F., Pirone A., Vallerotonda M.R. (2018). *Managing pressure equipment aging in plants with major accident hazard: a methodology satisfying the requirements of the European Directive 2012/18/UE Seveso III*. Proceedings of the ASME/PVP conference 2018.
- [13] American Petroleum Institute API (2016). *Risk-based Inspection Methodology. API Recommended Practice 581*. Third Edition. Washington, USA.
- [14] Guizzardi G. (2005). *Ontological Foundations for Structural Conceptual Model*. PhD thesis, Enschede, The Netherlands.
- [15] Ansaldo S.M., Agnello P., Bragatto P. (2017). *Smart Safety Systems: Are they ready to control the hazards of major accidents?* WIT Transactions, The Built Environment,
- [16] Report of SAFELIFE-X project no. D3.3. *Analysis of the degradation laws and kinetics*. Accessed on the 18-07-2018: <http://www.safelife.eu-vri.eu/>
- [17] S. Anastasi, et al. (2018) *SmartBench: quando la sicurezza negli stabilimenti industriali diventa Smart?*. Analisi e Calcolo, 86.