



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Principi e Impianti di Ingegneria Chimica

TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA CHIMICA

Metodologie di Indagine Forense nell'ambito degli
Incidenti Industriali



Relatore: Prof Giuseppe Maschio
Padovani

Laureanda: Serena

Correlatore: Prof Luca Marmo, Politecnico di Torino

anno accademico 2010 - 2011

*A chi non c'è più
e a chi condivide con me ogni respiro.
Agli uomini della mia vita.*

Indice

Introduzione e scopo del lavoro.....	6
Capitolo 1.....	11
Investigazioni tecniche nell'ambito di procedimenti giudiziari.....	11
1.1 Il processo penale.....	11
1.2 La consulenza tecnica all'interno del procedimento penale.....	15
1.3 La struttura gerarchica delle fonti di diritto.....	19
1.4 La normativa tecnica.....	25
1.5 La sentenza.....	31
Capitolo 2.....	35
Scenari incidentali.....	35
2.1 Introduzione.....	35
2.2 I principi della combustione.....	37
2.2.1 Infiammabilità dei liquidi.....	41
2.2.2 Classificazione dei liquidi infiammabili.....	43
2.2.3 Infiammabilità di gas e vapori.....	44
2.2.3 L'innesco.....	51
2.3 Incendi.....	54
2.4 Esplosioni.....	61
2.4.1 Esplosioni di polveri.....	68
2.5 Scenari incidentali.....	72
Capitolo 3.....	83
L'indagine tecnica.....	83
3.1 Introduzione.....	83
3.2 Fasi dell'indagine.....	85
3.2.1 Raccolta delle evidenze.....	85
3.2.2 Analisi delle evidenze.....	89
3.2.2.1 Analisi dimensionali.....	92
3.2.2.2 Analisi chimiche.....	97
3.2.2.2 Analisi dati digitali.....	98
3.2.2.4 Prove non distruttive.....	98
3.2.2.5 Prove meccaniche distruttive.....	102
3.3 Individuazione delle cause e della dinamica incidentale.....	106
3.5 Metodo della spirale conica.....	112
Capitolo 4.....	119
La raccolta delle evidenze.....	119
4.1 Considerazioni generali.....	119
4.2 Testimonianze.....	121
4.2.1 Conduzione intervista.....	124
4.3 Documentazione cartacea.....	128
4.4 Documentazione digitale.....	132
4.4 Fotografie.....	136
4.4.1 La Raccolta delle fotografie.....	137
4.4.2 La catalogazione delle fotografie.....	144
4.6 Evidenze fisiche.....	150
4.6.1 Campionamento.....	152
4.6.1 Selezione del campione.....	154
4.6.1.3 Prelievo del campione.....	155

4.6.1.3 Imballaggio del campione.....	159
4.6.1.4 Sigillatura dell'imballaggio.....	164
Capitolo 5.....	167
Applicazione del metodo ai tre casi di studio.....	167
5.1 Introduzione.....	167
5.2 Umbria Olii, Spoleto.....	169
5.2.1 L'azienda e il processo produttivo prima dell'incidente.....	169
5.2.2 Lo sviluppo dell'indagine tecnica.....	173
5.2.2.1 La raccolta e l'analisi delle evidenze.....	174
5.2.2.2 Il passaggio da evidenze a deduzioni.....	188
5.2.2.3 La ricostruzione della dinamica incidentale.....	193
5.2.2.4 Aspetti emersi dall'indagine.....	195
5.3 ThyssenKrupp, Torino.....	199
5.3.1 L'azienda e il processo produttivo prima dell'incidente.....	199
5.3.2 Lo Sviluppo dell'indagine tecnica.....	205
5.3.2.1 La raccolta e l'analisi delle evidenze.....	207
5.3.2.2 Il passaggio da evidenze a deduzioni.....	218
5.3.2.3 Ricostruzione della dinamica incidentale.....	222
5.3.2.4 Aspetti emersi dall'indagine.....	223
5.4 Molino Cordero, Fossano.....	225
5.4.1 L'azienda e il processo produttivo prima dell'incidente.....	225
5.4.2 Lo sviluppo dell'indagine tecnica.....	228
5.4.2.1 La raccolta e l'analisi delle evidenze.....	230
5.4.2.2 Il passaggio da evidenze a deduzioni.....	236
5.4.2.3 Ricostruzione della dinamica incidentale.....	239
5.4.2.4 Aspetti emersi dall'indagine.....	240
Bibliografia.....	243
Ringraziamenti.....	245

Introduzione e scopo del lavoro

Se si fa una ricerca semplice, per esempio su Wikipedia, enciclopedia tra le più consultate ed accessibili, alla voce “Medicina Legale” si aprono diverse pagine, tra cui una dedicata, che parlano dell'argomento, in cui si possono trovare molte informazioni, dalla definizione, alla suddivisione in sotto categorie, ai campi specifici di applicazione della materia. Se si prova invece a far la medesima ricerca per “Ingegneria Forense”, si trova davvero poco. Questa differenza sta nel fatto che mentre ormai la Medicina Legale è ampiamente riconosciuta sia dalla comunità scientifica che dal mondo del lavoro, l'Ingegneria Forense sta iniziando a farsi conoscere in Europa solo da qualche anno, diversamente da quanto avviene negli Stati Uniti e nel mondo anglosassone dove si sta investendo in questo settore ormai da una ventina di anni.

Quando si parla di Ingegneria Forense si intende l'applicazione della tecnica, cioè i principi e le metodiche tipiche dell'Ingegneria, alla risoluzione di problemi, eventi dannosi dei più disparati emersi durante un procedimento giudiziario, attraverso la figura del consulente tecnico, d'ufficio o di parte. Si tratta quindi di conciliare l'Ingegneria, intesa in tutti i suoi differenti settori (industriale, civile, elettrico...) alla giurisprudenza, rendendola quanto più comprensibile a chi poi avrà il compito di giudicare. Fa da sé la complessità e vastità di una materia così trasversale.

L'obiettivo di questo lavoro è di rendere organico un metodo generale per lo sviluppo dell'indagine tecnica relativa ad incidenti industriali, da cui è possibile estrapolare concetti di carattere generale, coniugando informazioni note, presenti in letteratura, ad aspetti più pratici emersi dallo studio di casi reali, individuando i requisiti di massima riguardo all'indagine e a come deve essere condotta. Tale risultato consente una maggiore comprensione dell'intero iter investigativo, che vista la complessità viene spesso trattato nei suoi elementi costituenti, senza però chiarire il filo conduttore che li lega. Durante l'intera trattazione si è cercato inoltre di evidenziare, quando emerse, le tipicità, i punti deboli, dell'Ingegneria Forense in Italia, per renderla più comprensibile, per fornire spunti di riflessione, individuare spazi di sviluppo.

La tesi è suddivisibile in tre parti principali: nella prima si forniscono le nozioni di base relative alle dinamiche processuali e alle principali tipologie di scenari incidentali, indispensabili per capire a fondo sia il ruolo del consulente tecnico che l'ambito specifico nel quale si trova ad operare. Nella seconda parte si presenta l'indagine tecnica e il suo sviluppo, attraverso le fasi principali che la costituiscono, arrivando infine a presentare il metodo individuato. Particolare attenzione verrà dedicata alla fase di Raccolta delle Evidenze, in quanto caratterizzante l'indagine stessa. Nell'ultima parte della tesi si segue, grazie al metodo individuato, lo sviluppo di tre indagini reali, condotte in qualità di consulente tecnico o perito dal Professor Luca Marmo, del Politecnico di Torino. Questi casi reali sono stati analizzati e studiati ad indagini già concluse, mediante la consultazione della relazione tecnica (o perizia), delle consulenze tecniche di parte, dei documenti agli atti, quindi fotografie, relazioni dei Vigili del Fuoco, mail aziendali interne, certificati di analisi di campioni

e molti altri, indicati in dettaglio nella trattazione e quando presente è stata prestata particolare attenzione alla sentenza o meglio, alle motivazioni della sentenza. Lo studio effettuato a valle dell'intera investigazione e non durante il suo sviluppo diventa quindi un punto di forza dell'intero lavoro in quanto ha permesso di valutare l'indagine nella sua totalità, guardandola da differenti angolazioni e dando svariati spunti di carattere generale. I casi di studio riguardano tre incidenti importanti, che hanno provocato vittime e che hanno colpito industrie appartenenti a settori molto diversi tra di loro, si tratta:

- l'incidente alla Umbria Olii di Spoleto, in cui hanno perso la vita Maurizio Manili, Tullio Mottini, Vladimir Todhe, Giuseppe Coletti
- l'incidente alla Thyssenkrupp di Torino, in cui hanno perso la vita Antonio Schiavone, Roberto Scola, Angelo Laurino, Bruno Santino, Rocco Marzo, Rosario Rodinò, Giuseppe Demasi
- l'incidente al Molino Cordero di Fossano, in cui hanno perso la vita Valerio Anchino, Mario Ricca, Marino Barale, Massimiliano Manuello, Antonio Cavicchioli.

Grazie all'eco avuto da questi processi, Thyssen in particolare, si è fatto un passo avanti nel far conoscere questa materia, nel far capire l'importanza di questo ambito

Introduzione e scopo del lavoro

di ricerca, della necessità di investire sulla preparazione di una figura specializzata quale deve essere quella del consulente tecnico, senza la quale non si può capire cos'è successo, se si è sbagliato qualcosa, cos'è andato storto.

La conoscenza, in questo tipo di processi, non si ferma alla ricerca delle responsabilità, pur necessaria, la conoscenza crea consapevolezza e la storia dovrebbe insegnare, sempre.

Capitolo 1

Investigazioni tecniche nell'ambito di procedimenti giudiziari

1.1 Il processo penale

L'intero processo penale è governato dal corrispondente Codice di Procedura Penale (CPP) costituito da 11 libri, 746 articoli più disposizioni varie. Nel sintetizzare le fasi principali del processo, ci si rifà sia al CPP, negli articoli più significativi che alla redazione di Pippo Mistretta, *Principi di Ingegneria forense*.

Il procedimento penale ha inizio quando il Pubblico Ministero (PM), ricevuta una notizia di reato, fatta da un'autorità in senso generico la iscrive in un apposito registro, dove va indicato, quando noto, il nome dell'indagato. Comincia quindi la fase delle *indagini preliminari*, nella quale il PM, assieme alla Polizia Giudiziaria (PG) compie tutta una serie di accertamenti per capire se sussistono gli elementi per far partire l'azione penale. Durante tutta questa fase, colui che esercita un'opera di garanzia, di controllo del corretto svolgimento dell'inchiesta e di decisione, affiancando il PM, è il Giudice per le indagini preliminari (GIP), che comunque

non ha poteri autonomi di iniziativa probatoria, provvede solitamente solo su istanza di parte. Quando l'oggetto dell'investigazione riguarda argomenti che necessitano di competenze specifiche, è il caso degli incidenti industriali, ma non solo, il PM si può rivolgere ad un consulente tecnico d'ufficio (CTU), così come le parti ad un CTP, per avere supporto. Gli elementi raccolti durante l'indagine preliminare dalla polizia giudiziaria, quali per esempio i verbali di accertamento e i rilievi effettuati, vanno direttamente agli atti del giudice. Al contrario, le testimonianze e le perizie dei consulenti tecnici, non hanno valore probatorio durante questo stadio, sono considerate “fonti” di prova e necessitano quindi di essere confermate in udienza per poter essere considerate prove. Può emergere la necessità di acquisire un elemento già durante la fase delle indagini preliminari, quando c'è il rischio che si possano perdere informazioni importanti, vedi per esempio dati digitali che possono essere contraffatti o proprietà chimico-fisiche di sostanze, alterate. Il GIP quindi dispone l'*incidente probatorio* nel quale tali dati vengono assunti come prove, utilizzabili solo nei confronti di imputati i cui difensori hanno partecipato all'assunzione (vedi Art. 403). La durata delle indagini preliminari, ha un termine massimo di 18 mesi, prolungabile a due anni in casi particolarmente complessi, come da Art. 407. Al termine di questa fase investigativa il PM presenta al Giudice per l'udienza preliminare (GUP) durante l'*udienza preliminare* la richiesta di rinvio a giudizio nei confronti del soggetto indagato, che diventa quindi imputato. Segue una discussione, regolata dall'Art. 421, nella quale il PM espone sinteticamente i risultati delle indagini preliminari e gli elementi di prova che giustificano la richiesta di rinvio a giudizio. Prendono poi la parola, con un ordine ben preciso, i difensori, di parte civile, del responsabile civile, dell'imputato, che presentano le loro difese. Se l'azione penale promossa dal PM non viene considerata fondata, il giudice sentenza

1.1 Il processo penale

il non dar luogo a procedere, perchè ritiene per esempio che il fatto non sussista, o che non costituisca reato o ancora che l'imputato non abbia commesso quello per cui viene accusato.

In caso contrario, con il decreto di rinvio a giudizio, parte il processo vero e proprio.

Segue quindi la *fase dibattimentale*, dove vengono assunte le prove indicate, secondo un ordine che prevede per prime quelle richieste dal PM e a seguire quelle richieste dalle parti. I testimoni vengono sentiti in tre differenti fasi:

- esame diretto, dove la persona ritenuta informata dei fatti, viene interrogata dalla parte che ne chiede l'ammissione a processo;
- controesame, il soggetto viene interrogato dalla controparte;
- riesame, se la parte che ne ha chiesto l'approvazione ritiene sia necessario un ulteriore esame.

La successiva è la *fase istruttoria*, nella quale il giudice decide sulle eccezioni presentate dalle parti, che sottoporranno i consulenti, i periti, ad esame testimoniale, con la facoltà comunque di consultare documenti, pubblicazioni, note scritte che possono essere acquisite anche d'ufficio. Segue la *discussione finale*, in cui il PM e di seguito i vari difensori, formulano e illustrano le rispettive conclusioni. E' possibile un'unica replica per entrambe le parti, per confutare gli argomenti avversari, durante quest'ultima fase non è possibile assumere ulteriori prove, se non in caso di assoluta necessità, per la quale il giudice provvede a norma dell'Art.507.

In ultimo la *sentenza*, che nel caso di processo penale può essere di tre tipi:

- di assoluzione o proscioglimento;
- di non luogo a procedere;
- di condanna

A questa verrà dedicato un paragrafo a parte, in quanto è necessario evidenziare alcuni aspetti emersi dallo studio di sentenze reali, che sono significativi per delineare le basi su cui il giudice fonda la propria decisione, basi create sugli elementi venuti a galla dall'indagine tecnica, quando presente.

1.2 La consulenza tecnica all'interno del procedimento penale

Il consulente tecnico è quella figura specializzata nell'ambito di interesse, cui il PM affida la risoluzione di quesiti utili all'indagine e che necessitano di competenze specifiche. Va distinto dal perito, che invece è nominato dal giudice, secondo l'Art 225 del CPP e che per il conferimento dell'incarico deve sottoporsi a giuramento ⁽¹⁾. Il perito, accettando l'incarico, assume la qualifica di “pubblico ufficiale” cioè di colui che esercita una funzione legislativa, giurisdizionale o amministrativa, che prevede tutta una serie di obblighi civili e penali. E' a discrezione comunque del giudice sia la scelta di volere o meno un perito, che in realtà funge anche da garante del corretto svolgimento delle indagini, sia il momento nel quale eventualmente nominarlo. A seconda del caso specifico, il perito può essere incaricato da subito, nella fase di indagini preliminari o dopo la loro chiusura, se il magistrato ritiene di non aver elementi sufficienti o convincenti per sentenziare. Esiste inoltre la figura del consulente tecnico di parte (CTP), incaricato dalla persona indagata, offesa oppure dalla parte civile ⁽²⁾ che non ha l'obbligo di giuramento, deve rispondere solo al cliente da cui ha avuto mandato e alle norme e consuetudini di deontologia professionale, e il cui compito consiste nel seguire l'investigazione effettuata dal CTU o dal perito, ponendo istanze ed osservazioni, di cui vi è l'obbligo di dar conto. Dopo aver accettato l'incarico, il CTU si impegna a rispondere ai quesiti che gli son stati posti dal PM (analogamente al perito del giudice), depositando una relazione

1 *«consapevole della responsabilità morale e giuridica che assumo nello svolgimento dell'incarico, mi impegno ad adempiere al mio ufficio senza altro scopo che quello di far conoscere la verità e a mantenere il segreto su tutte le operazioni peritali».* da Art.226 del CPP

2 *parte civile è quel soggetto che all'interno di un processo penale si ritiene danneggiata dal reato in discussione e vuol far valere davanti al giudice la propria domanda di risarcimento o restituzione*

1.2 La consulenza tecnica all'interno del procedimento penale

tecnica (perizia) entro un termine stabilito dal giudice, che non supera mai i 6 mesi di tempo e che può essere, se la complessità del caso lo richiede, posticipato, previa richiesta motivata, generalmente di 30 gg ogni volta. In tale relazione vengono indicati tutti i risultati dell'indagine, supportati da normativa, letteratura e metodologie scientificamente approvate, solo in questo modo la consulenza stessa può costituire una fonte di prova oggettiva. Il consulente si può inoltre avvalere dell'ausilio di esperti che lo affianchino per l'intera indagine o anche solo per qualche aspetto così da garantire quell'elevato grado di competenza, di rigore, ma allo stesso tempo di flessibilità necessarie. L'iter investigativo procede in realtà su due fronti, che sarebbe sempre bene far progredire assieme, nell'interesse di entrambe le parti, quello tecnico con il consulente e quello giudiziale, attraverso la polizia giudiziaria (PG). Da tener presente che l'azione investigativa del CT necessita di essere affiancata da rappresentanti della legge, quali garanti della correttezza delle operazioni effettuate.

I compiti della Polizia Giudiziaria sono sostanzialmente tre:

- funzione *investigativa*, che consiste nella ricerca di fonti di prova e nella raccolta di ogni elemento utile alla ricostruzione del fatto costituente reato e all'individuazione delle responsabilità. Questa si intreccia necessariamente con l'indagine del consulente, il quale può evidenziare, per esempio, l'utilità di sequestrare un pc contenente dati interessanti,

1.2 La consulenza tecnica all'interno del procedimento penale

però spetta alla PG procedere a tale sequestro;

- funzione *repressiva*, cioè impedire che i reati vengano portati a conseguenze ulteriori;
- funzione *esecutiva*, in ausilio al giudice o al PM e consiste nella notifica ed esecuzione di ordinanze ed atti del procedimento penale in corso e delegati dalla stessa autorità giudiziaria.

Il CPP colloca la Polizia Giudiziaria tra i “soggetti” del procedimento, sottolineando lo stretto rapporto con il PM e la centralità dei suoi compiti, nelle fasi delicate di inizio dell'azione giudiziaria, dedicandole due gruppi di norme. Il primo gruppo, gli Articoli dal 55 al 59, definisce le funzioni della PG, delineandone i profili strutturali e organizzativi. Il secondo gruppo invece disciplina l'attività di indagine della PG, sia quella ad *iniziativa autonoma*, vedi Articoli dal 347 al 357, che quella che svolge su *delega* o sotto la “direttiva” del PM. In particolare, l'Art.348, relativo all'assicurazione delle fonti di prova, l'Art. 352 sulle perquisizioni e l'Art. 354, che regola gli accertamenti urgenti su luoghi, cose e persone, vedi il sequestro.

Importante sottolineare la differenza sostanziale tra il ruolo del CT e quello della PG, che si trovano a collaborare:

- CTU, interpreta e richiama norma tecniche ma non suggerisce soluzioni giuridiche

1.2 La consulenza tecnica all'interno del procedimento penale

- UPG, tende a non esprimere valutazioni tecniche, lasciandole al consulente, ma si adopera per individuare responsabilità penali

Nel caso però di reati colposi, al consulente tecnico spetta pure il compito, oltre a quello di indicare dinamica e cause dell'evento, di confrontare il comportamento della persona indagata e le cautele che sono state omesse oppure violate dallo stesso, in riferimento alla normativa specifica.

L'indagine del consulente tecnico viene quindi effettuata in collaborazione con la Polizia Giudiziaria, che nel caso specifico, di incidente industriale, ha le vesti tra gli altri dei Vigili del Fuoco (VVF), in qualità di agenti di polizia giudiziaria o ufficiali, a seconda del ruolo ricoperto all'interno del Corpo Nazionale. L'Art. 13 del D.Lgs. 81/08 definisce poi la S.Pre.S.A.L, Servizio Prevenzione Sicurezza negli Ambienti di Lavoro, come la struttura dell'Asl che funge sia da vigilanza che da PG nell'ambito della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro. Sia i VVF che gli ispettori della SpreSAL, a differenza di carabinieri ed altre forze dell'ordine, viste le competenze specifiche, hanno un ruolo attivo nell'indagine del consulente, soprattutto nella fase iniziale, quando sono chiamati alla messa in sicurezza del sito e ai primi necessari controlli.

1.3 La struttura gerarchica delle fonti di diritto

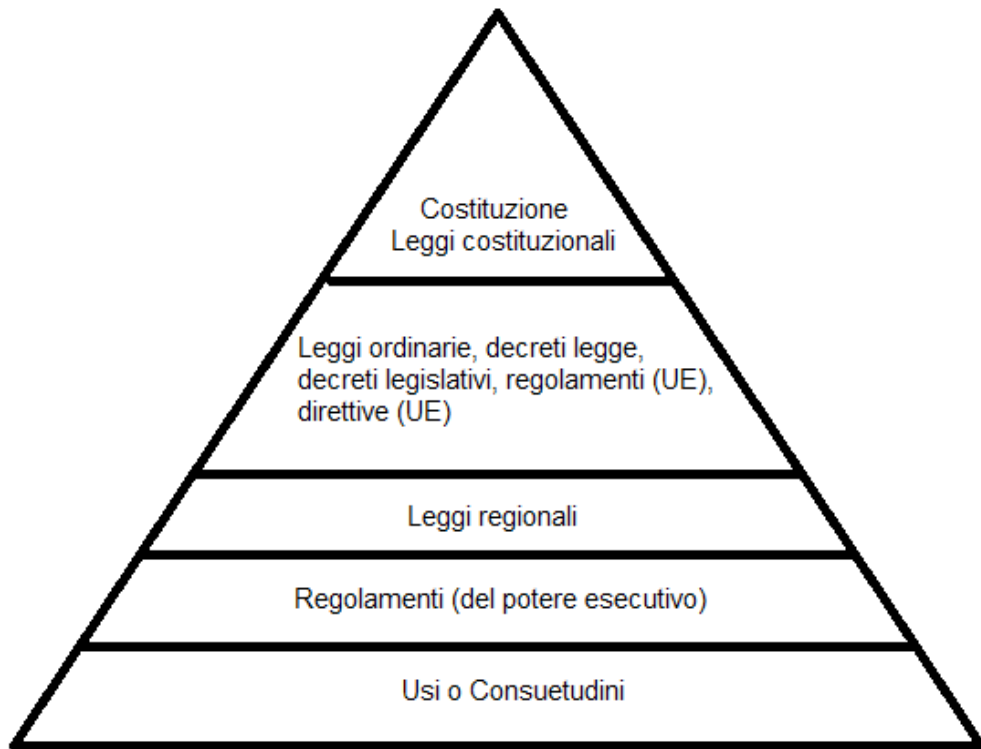
Per *fonti di diritto* si intendono tutti quei fatti, quegli atti, attraverso i quali vengono approvate, modificate o abrogate le norme giuridiche e sono suddivisibili in due categorie:

1. Fonti di produzione: sono i modi di formazione del diritto. Si parla di “fonti-atto” quando sono stabilite da soggetti che hanno il potere di produrre leggi, osservando determinate procedure oppure “fonti-fatto” quando derivano da comportamenti della collettività che assumono valore giuridico;
2. Fonti di cognizione: sono i modi per conoscere le norme, vedi per esempio la Gazzetta Ufficiale, codici, i testi unici.

In Italia si distinguono le fonti *interne*, o nazionali, che sono espressione della sovranità dello Stato (dalla Costituzione alle consuetudini) e quelle *esterne*, del potere normativo dell'Unione Europea, espresso attraverso regolamenti o direttive.

Esiste una gerarchia tra le varie fonti, rappresentata dalla Figura 1.1 a seguito, che identifica l'ordine con il quale vanno agiscono norme differenti.

Figura 1.1. Struttura gerarchica delle fonti di diritto



Non tutte le fonti hanno la stessa importanza, il principio fondamentale di questa gerarchia è che ciò che stabilisce il vertice della piramide deve valere per tutti i livelli successivi, quindi ci si muove verso la base coerentemente con quanto fissato dai livelli superiori, vincolando le nuove norme introdotte ad essere conformi a quelle di rango superiore.

In estrema sintesi, si indicano le caratteristiche delle varie fonti di diritto, suddivise seguendo la piramide, partendo dal vertice.

1.3 La struttura gerarchica delle fonti di diritto

- Costituzione: rappresenta la prima fonte di produzione normativa dopo la fine della Seconda Guerra Mondiale, è quindi il corpus fondante delle norme dell'ordinamento giuridico italiano. E' rigida in quanto pone delle regole ben precise per poter essere modificata: solo leggi costituzionali ad hoc, che devono essere approvate da una maggioranza qualificata, possono cambiarla. E' comunque democratica, in quanto la sua stesura è stata realizzata da rappresentanti del Parlamento, scelti dal popolo.

Leggi costituzionali: sono l'unico strumento per poter modificare o aggiornare la Costituzione, rappresentano leggi primarie, quindi appartengono al vertice della piramide.

- Leggi ordinarie: sono leggi approvate dal Parlamento che seguono un iter ben preciso:
 - un senatore o un deputato presenta un progetto di legge
 - tale progetto viene analizzato da un comitato
 - una delle due Camere approva il progetto di legge
 - tale progetto viene mandato all'altra Camera, dove deve essere approvato

1.3 La struttura gerarchica delle fonti di diritto

- solo quando viene approvato da entrambe le Camere, non si chiama più progetto di legge ma diventa una Legge dello Stato
- tale legge viene promulgata dal Presidente della Repubblica
- si pubblica sulla Gazzetta Ufficiale
- segue un periodo chiamato “Vacatio Legis”, che non è previsto per tutte le norme, durante il quale gli effetti giuridici della norma sono in sospenso fino all'entrata in vigore
- entrata in vigore della norma.

Decreti legge: sono atti aventi forza di legge, emanati dal Presidente o dal Primo Ministro, in caso di emergenza o urgenza. Hanno valore provvisorio ed entrano in vigore immediatamente dopo la loro promulgazione.

Decreti Legislativi: hanno lo stesso valore delle leggi ordinarie, solo che vengono fatti dal Governo per delega dal Parlamento, che ne definisce materia e tempi. L'intero iter risulta molto più veloce.

Regolamenti (UE): sono norme giuridiche che trovano immediata applicazione all'interno dei Paesi membri dell'Unione Europea.

1.3 La struttura gerarchica delle fonti di diritto

Direttive (UE): non hanno immediata applicazione all'interno del Paese membro, per essere recepite è necessaria l'istituzione di una norma giuridica che può essere sia un decreto che una legge ordinaria, che abbia il medesimo contenuto.

- Leggi regionali: sono leggi fatte dalle regioni, su temi che non riservati allo Stato e che non hanno carattere nazionale, grazie al Principio di sussidiarietà che sancisce l'ampia autonomia delle Regioni. Queste leggi non possono toccare questioni relative alla sicurezza pubblica e neppure alla produzione della moneta.
- Regolamenti (del potere esecutivo): sono gli strumenti che il potere esecutivo utilizza per applicare quanto imposto dalle Leggi ordinarie. Possono esserci regolamenti regionali, che devono però essere subordinati a quelli nazionali.
- Usi o consuetudini: regolano attività particolari, appartenenti per esempio al mondo del commercio o a quello scientifico, che necessitano quindi di specificità.

1.4 La normativa tecnica

La normativa tecnica è nata, in svariati settori, più di cinquant'anni fa con uno scopo ben diverso da quello attuale e cioè a protezione dei mercati interni dei singoli Stati così da non permettere a imprenditori stranieri di essere in grado di fare concorrenza ai produttori locali. Con la progressiva apertura delle frontiere e la libera circolazione delle merci, le normative si sono evolute, diventando un punto di riferimento per armonizzare i vari prodotti, così da renderli utilizzabili in ogni nazione. Attualmente le norme tecniche sono dei documenti che definiscono le caratteristiche dimensionali, di prestazione, di qualità e di sicurezza di un prodotto, di un processo, di un servizio relative a tutte le fasi di produzione del prodotto o dell'attività del servizio in questione, secondo lo stato dell'arte. Tali norme prestano particolare attenzione anche agli aspetti legati alla sicurezza, all'organizzazione aziendale e alla protezione ambientale, tutelando quindi il personale, le aziende e l'Ambiente stesso. Sono di applicazione volontaria ma riguardando spesso ambiti di interesse rilevante, per la vita del lavoratore, del cittadino o dell'Ambiente, le Pubbliche Amministrazioni le richiamano sovente in documenti legislativi, trasformandole così in documenti cogenti, cioè a carattere obbligatorio.

Gli enti normatori sono differenti, suddivisi per settore di interesse e a seconda che siano a livello italiano, europeo o internazionale.

1.4 La normativa tecnica

Tabella 1.1. Enti normatori mondiali

	SETTORE		
	Elettrotecnico ed elettronico	Altri	Telecomunicazioni
Internazionale	<p>IEC <i>International Electrotechnical commission</i></p> <p>Ginevra, Svizzera http://www.iec.ch</p>	<p>ISO <i>International Organization for Standardization</i></p> <p>Ginevra, Svizzera http://www.iso.org/iso/home.htm</p>	<p>ITU <i>International Telecommunication Union</i></p> <p>Ginevra, Svizzera http://www.itu.int</p>
Europa	<p>CENELEC <i>European Committee for Electrotechnical Standardization</i></p> <p>Brussels, Belgio http://www.cenelec.eu</p>	<p>CEN <i>European Committee for Standardization</i></p> <p>Brussels, Belgio http://www.cen.eu</p>	<p>ETSI <i>European Telecommunications Standards Institute</i></p> <p>Sophia Antipolis, Francia http://www.etsi.org</p>
Italia	<p>CEI <i>Comitato Elettrotecnico Italiano</i></p> <p>Milano, Italia</p>	<p>UNI <i>Ente Nazionale Italiano di Unificazione</i></p> <p>Milano, Italia</p>	<p>CONCIT <i>Comitato Nazionale di Coordinamento per l'Informatica e le Telecomunicazioni</i></p> <p>Roma, Italia http://www.isticom.it</p>

	http://www.ceiweb.it	http://www.uni.com	t
--	---	---	---

La ISO è la prima organizzazione a livello mondiale per la definizione di norme tecniche e coopera strettamente con la IEC, definendo quei riferimenti che ogni singolo Paese è libero di recepire, a propria discrezione. All'Italia, per esempio, è consentito adottare una norma ISO senza il bisogno che sia stato fatto prima a livello europeo. Le norme europee invece, elaborate dal CEN e che assumono nel titolo la sigla EN, devono essere obbligatoriamente recepite dai Paesi membri CEN (31 in totale, contati tra i 27 dell'UE, più Croazia, Norvegia, Svizzera e Islanda).

Per quanto riguarda gli enti normativi italiani:

- UNI- *Ente Nazionale Italiano di Unificazione*

E' l'organismo che promuove nuove norme a livello nazionale e che si occupa di recepire, armonizzare e diffondere in Italia norme ISO o del CEN. Le aree tematiche di interesse sono svariate: edilizia, impianti ed energia, materiali e prodotti da costruzione, salute e benessere, qualità assieme a conformità e metrologia, prodotti finiti, materiali di base e tecnologie applicate ecc.

- CEI- *Comitato Elettrotecnico Italiano*

Fondato nel 1909 dall'Associazione Elettrotecnica Italiana, è stato riconosciuto, attraverso il D.P.R. 822 del 1967 come associazione privata dotata di personalità giuridica. Lo scopo di tale organismo è quello di “ *stabilire i requisiti che devono avere i materiali, le macchine, le apparecchiature e gli impianti elettrici perchè essi rispondano alle norme della buona elettrotecnica e i criteri con i quali detti requisiti debbano essere controllati*”. E' suddiviso in Comitati e Sottocomitati tecnici ed emette norme e tabelle dimensionali per tutto il settore elettrico, affiancato nel lavoro dall'UNEL (Unione Elettrotecnica ed Elettronica) in base ad una convenzione sancita con il CNR.

- CONCIT- *Comitato Nazionale di Coordinamento per l'Informatica e le Telecomunicazioni*

Costituito dall'ISCOM (Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle tecnologie dell'informazione) dal CEI e dall'UNI, è un organismo che ha lo scopo di promuovere e coordinare le attività normative nei settori dell'Informatica e delle Telecomunicazioni.

L'iter che porta alla nascita di una norma tecnica prevede quattro step:

1. Messa allo studio assieme ad un'inchiesta pubblica preliminare.

A seguito di una richiesta effettuata dal mercato, dai consumatori, dalle istituzioni, da organi tecnici UNI, viene effettuato uno studio di fattibilità mettendo in relazione le esigenze del mercato con quelle normative. Se l'esito di queste analisi e di un'indagine preliminare, che prevede la raccolta di informazioni e suggerimenti dal mercato, è positivo, si procede all'assegnazione dei lavori di stesura del progetto agli organi tecnici competenti.

2. Stesura del documento.

Alla redazione di una bozza di norma partecipano sia gruppi di lavoro appartenenti all'ambito dell'organo tecnico dell'ente, che rappresentano parti sociali ed economiche, che esperti esterni. L'ente di normazione in questa fase ha un ruolo di coordinamento e vigilanza, *super partes*.

3. Inchiesta pubblica

Dopo essere stato approvato da una Commissione Centrale Tecnica competente, il progetto di norma viene reso disponibile al mercato per raccogliere osservazioni, commenti, in modo da ottenere il più ampio consenso possibile.

4. Pubblicazione

1.4 La normativa tecnica

In seguito alla ratifica da parte del Presidente, la norma viene pubblicata e inserita in catalogo, con conseguente entrata in vigore e disponibilità.

1.5 La sentenza

La sentenza rappresenta l'atto ultimo di un processo, nel quale il giudice esprime il verdetto, motivandolo, che può essere di assoluzione o proscioglimento, di non luogo a procedere, oppure di condanna nei confronti degli imputati del reato in discussione. Quando l'azione giudiziaria è legata ad un incidente industriale, l'individuazione di responsabilità non può prescindere dalla ricostruzione della dinamica incidentale e dall'individuazione delle cause all'origine dell'evento.

Regolata dal CPP, Artt. 525-548, la stesura della sentenza non è vincolata in realtà ad una struttura ben definita, i requisiti sono definiti nell'Art.546 per il quale:

“La sentenza contiene:

- a) l'intestazione «in nome del popolo italiano» e l'indicazione dell'autorità che l'ha pronunciata;*
- b) le generalità dell'imputato o le altre indicazioni personali che valgono a identificarlo nonché le generalità delle altre parti private;*
- c) l'imputazione;*
- d) l'indicazione delle conclusioni delle parti;*
- e) la concisa esposizione dei motivi di fatto e di diritto su cui la decisione è fondata, con l'indicazione delle prove poste a base della decisione stessa e l'enunciazione delle ragioni per le quali il giudice ritiene non attendibili le prove contrarie;*

1.5 La sentenza

f) il dispositivo, con l'indicazione degli articoli di legge applicati;

g) la data e la sottoscrizione del giudice.”

Lo studio di sentenze legate a processi per incidenti industriali ha permesso però di individuare elementi significativi di cui tener conto durante l'indagine tecnica, in quanto spunto di considerazioni del giudice, che distinguono questi procedimenti da altri. Fra tutte, particolarmente interessante quella relativa all'esplosione al Molino Cordero di Fossano, caso la cui indagine verrà presentata in questa trattazione.

Nella sentenza, come prima cosa vengono elencati i reati per cui gli imputati sono chiamati a rispondere, seguiti da un breve sunto di quelli che sono i fatti in discussione assieme a dettagli legati agli step processuali, per esempio chi si costituisce parte civile, in che data il PM chiede il rinvio a giudizio per gli imputati e altro. La motivazione della decisione è poi abbastanza articolata, una prima introduzione solitamente serve a delineare l'azienda e il processo produttivo, lo stato dei luoghi a seguito dell'incidente, con particolare interesse alla descrizione dei danni più indicativi. L'attenzione poi si concentra sulle ricostruzioni proposte dal CTU, dal perito, se presente, dai CTP, che vengono riprese e argomentate in modo da mettere in risalto i punti in accordo e in disaccordo, dando a tutte uguale rilevanza. Il giudice evidenzia l'insieme degli elementi di riscontro oggettivi a sostegno di ipotesi, considerazioni e dall'altra parte per contestare, quelli che sono invece i difetti di riscontro.

E' importante sottolineare come la certezza processuale sia ben diversa dalla certezza assoluta. Una ricostruzione viene infatti considerata plausibile quando riesce a

realizzare quell'elevato grado di probabilità logica, che resiste, anche dopo aver valutato tutte le evidenze processuali e tutte le ipotesi alternative. In giurisprudenza, si parla di *nesso causale* per indicare quella relazione, connessione che permette di affermare che un determinato evento è conseguenza di una certa azione od omissione. Quando ci si riferisce a cause all'origine di fenomeni, si parla di nesso di “derivazione eziologica”. L'accertamento di un nesso casuale deve dimostrare che sia statisticamente probabile e logicamente credibile, non esiste però un automatismo tra il livello di probabilità e l'esito dell'accertamento giudiziale. Perché le deduzioni proposte siano plausibili è indispensabile un riscontro ulteriore, che andrà cercato nelle evidenze probatorie disponibili, che dovranno essere tutte concordi nel sostenere la consistenza di un particolare nesso, nessuna esclusa.

Questo in sostanza deve essere l'obiettivo dell'indagine tecnica: riuscire a raccogliere quegli elementi significativi, con una modalità che ne preservi le informazioni in essi contenute, rendendoli inoppugnabili e utilizzabili quali elementi di riscontro. Non solo, a questi si aggiunge la necessità di riferimenti a norme tecniche, leggi fisiche, articoli dalla letteratura, legate ad eventi tipo quello che si è verificato, in grado di attestare la validità scientifica delle ipotesi di accadimento proposte, evitando che rimangano margini di indeterminatezza e discrezionalità.

Capitolo 2

Scenari incidentali

2.1 Introduzione

Gli incidenti che comunemente affliggono l'industria di processo sono tendenzialmente di tre tipi: incendi, esplosioni e rilasci di sostanze tossiche, la cui frequenza e magnetudo può essere riassunta nella tabella che segue.

Tabella 2.1. Tipologie di incidenti e corrispondente potenzialità e magnetudo, tratte da Crowl, Louvar- Chemical process safety : fundamentals with applications, 2nd ed, Prentice Hall PTR, 2002

Tipo di incidente	Probabilità di accadimento	Potenziale di morte	Potenziale di danno economico
INCENDIO	Alta	Bassa	Intermedia
ESPLOSIONE	Intermedia	Intermedia	Alta
RILASCIO di SOSTANZE TOSSICHE	Bassa	Alta	Bassa

2.1 Introduzione

Gli incendi e le esplosioni risultano essere, in generale, le tipologie tra le più frequenti e potenzialmente dannose dell'industria, ed effettivamente appartengono a queste due gli eventi oggetto dei casi di studio trattati. L'attenzione sarà dunque concentrata principalmente sulla descrizione di peculiarità e modalità di evoluzione di incendi ed esplosioni, tralasciando i rilasci di sostanze tossiche.

Può essere interessante citare i risultati di statistiche relative alle cause più frequenti all'origine degli incidenti industriali, in quanto individuano fattori critici, su cui si può concentrare maggiormente l'attenzione del consulente. Importante però tener presente che tali risultati hanno un valore puramente orientativo.

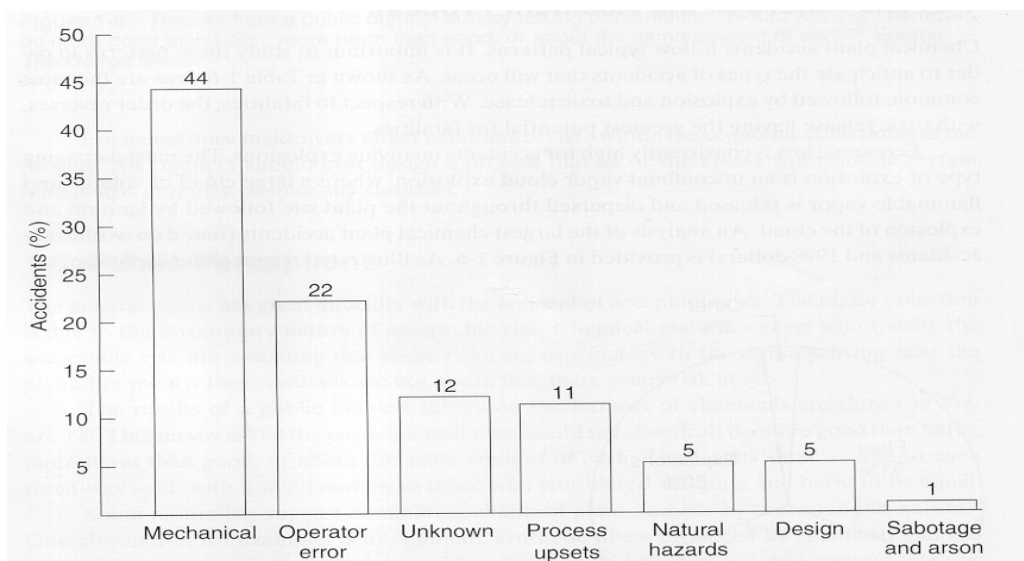


Figura 2.1. Cause degli incidenti in grandi impianti chimici e/o petrolchimici, negli Stati Uniti, al 1998, tratti da Crowl, Louvar- Chemical process safety : fundamentals with applications, 2nd ed, Prentice Hall PTR, 2002

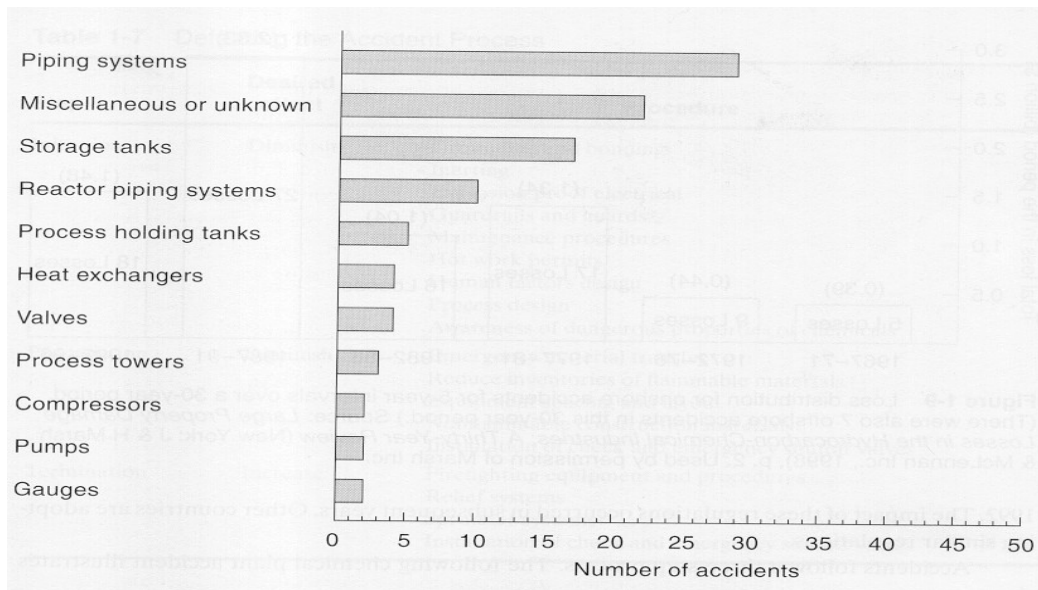


Figura 2.2. Componenti associati agli incidenti in grandi impianti chimici e/o petrolchimici, negli Stati Uniti, al 1998 tratti da Crowl, Louvar- Chemical process safety : fundamentals with applications, 2nd ed, Prentice Hall PTR, 2002

2.2 I principi della combustione

La combustione è una reazione chimica tra una sostanza, definita combustibile, ed un ossidante, di norma l'ossigeno, accompagnata da sviluppo di calore e solitamente

2.2 I principi della combustione

da una fiamma visibile. Attraverso il noto “ triangolo del fuoco” è possibile individuare i tre fattori necessari affinché si verifichi un incendio o un'esplosione:

- Presenza di *combustibile*
- Presenza di *comburente*
- Presenza di una sorgente di *innesco*

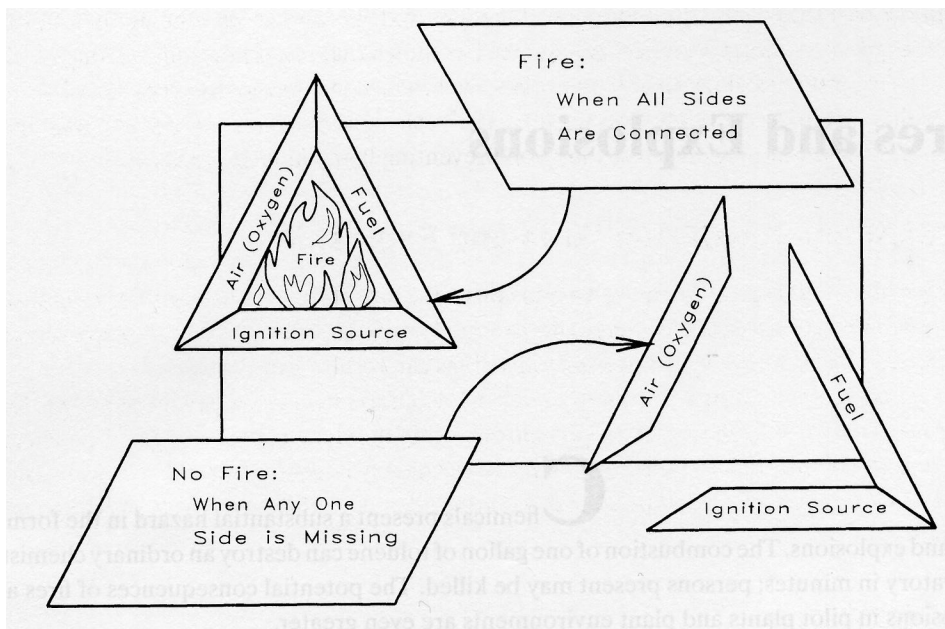


Figura 2.3. Il triangolo del fuoco

Il comburente è solitamente l'ossigeno contenuto nell'aria anche se esistono sostanze che hanno già nella loro molecola una quantità di ossigeno sufficiente a dare origine ad una combustione, se innescata, è il caso degli esplosivi o la cellulosa.

Il combustibile può essere solido, liquido, un gas, in generale è una sostanza che nella sua composizione molecolare presenta degli elementi che hanno tendenza a combinarsi con l'ossigeno, come il carbonio, lo zolfo, l'idrogeno. In generale, si definisce infiammabile una sostanza che si accende facilmente e brucia con insolita rapidità. Tuttavia affinché una combustione possa avviarsi è necessario che si verifichino alcune condizioni come, il raggiungimento del punto di infiammabilità, la composizione della miscela deve trovarsi nell'intervallo di infiammabilità, ecc.

Le caratteristiche più importanti delle reazioni di combustione sono:

- Elevata esotermicità
- Elevato sviluppo di gas ad alta temperatura.

I prodotti di tale reazioni sono:

2.2 I principi della combustione

- *calore*, causa principale della propagazione di un incendio, che in base agli effetti termici indotti sulle strutture produce un danno specifico. I differenti meccanismi di trasferimento di calore sono rappresentati in Figura 2.4.

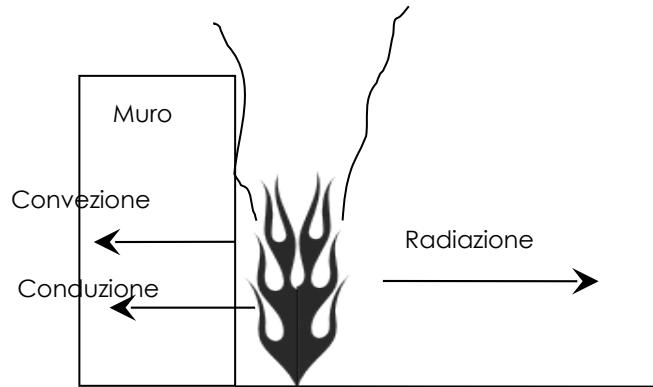


Figura 2.4. Meccanismi di trasferimento di calore, tratti da Fiorentini, Marmo-La valutazione dei rischi di incendio : norme e standard internazionali di riferimento, metodi e tecniche di analisi, definizione della strategia antincendio, gestione del rischio nel tempo, casi studio ed esempi applicativi, EPC,2011

- *fumo*, sotto forma di piccolissime particelle solide e liquide. La produzione di fumi durante gli incendi può essere causa di formazione di prodotti altamente tossici, e comporta un notevole ostacolo alle operazioni di soccorso soprattutto se in aree confinate
- *gas di combustione*, tra cui anidride carbonica, monossido di carbonio, ossidi di azoto, ammoniaca, acido cloridrico
- *fiamme*, in realtà non sempre, è il caso di quelle sostanze che non danno

origine a prodotti di pirolisi volatili. Per un combustibile gassoso, l'esistenza di una scala cromatica relativa alle temperature di combustione, permette di associare al colore delle fiamme un intervallo di temperatura in cui ricade il valore raggiunto dal combustibile in questione.

Colore della fiamma		Temperatura (°C)
Rosso nascente		525
Rosso scuro		700
Rosso ciliegia		900
Giallo scuro		1100
Giallo chiaro		1200
Bianco		1300
Bianco abbagliante		1500

Figura 2.5. Scala cromatica temperature di combustione dei gas, tratta dal sito cma.sistemi antincendio, ultima visita 20/11/2011

2.2.1 Infiammabilità dei liquidi

L'infiammabilità dei liquidi è legata alla loro capacità di emettere vapori in una quantità sufficiente da formare una miscela combustibile con l'aria. Ciascun liquido è caratterizzato da un valore di tensione di vapore che è funzione crescente della temperatura e il cui aumento determina quindi una maggior concentrazione di vapori infiammabili in aria. Ciò rende comprensibile in fatto che sia propria una

temperatura il parametro caratterizzante l'infiammabilità dei liquidi.

Si definisce *Temperatura di Flash point*, cioè punto di infiammabilità, la temperatura più bassa alla quale un liquido è in grado di sviluppare una quantità di vapori sufficiente a formare con l'aria una miscela che si infiamma sotto l'azione di una sorgente di innesco. Il suo valore è collegato alla Temperatura di ebollizione attraverso tre costanti, che risultano tabulate per molte sostanze ⁽³⁾.

Altro parametro caratterizzante è la *Temperatura di Fire point*, che è la temperatura più bassa alla quale un combustibile, contenuto in un recipiente aperto che viene scaldato, brucia per almeno 5 secondi dopo esser stato innescato.

Nella pratica, difficilmente si ha a che fare con sostanze pure, di cui è noto il Flash Point, spesso si lavora con miscele multicomponenti, dove magari non tutti i componenti sono infiammabili e anche se lo sono, il punto di infiammabilità non va semplicemente ricercato nel valore più basso di Flash Point. Esiste inoltre la possibilità che miscele di liquidi classificate come non infiammabili, lo diventino nel tempo, magari dopo il ristagno in recipienti all'aperto, è il caso della miscela benzene- tetracloruro di carbonio. Solitamente comunque si sfrutta l'effetto inibitore dei componenti non infiammabili sia in industria che nell'ambito della protezione antincendio.

³ vedi nel caso degli idrocarburi, K. Satyanarayana and P.G. Rao, *Journal of Hazardous materials* (1992), 32: 81-85

2.2.2 Classificazione dei liquidi infiammabili

I liquidi sono suddivisi in differenti categorie di infiammabilità a seconda dell'intervallo di temperatura cui appartiene il loro Flash Point.

Tabella 2.2. Classificazione liquidi infiammabili, tratta da presentazione di Paduano, "Il rischio incendio"

CATEGORIA	TEMPERATURA di FLASH POINT
Categoria A	Temp. Flash Point < 21°C
Categoria B	21°C ≤ Temp. Flash Point < 65°C
Categoria C	Temp. Flash Point ≥ 65°C

Tabella 2.3. Esempi di classificazione di liquidi infiammabili, tratta da presentazione di Paduano, "Il rischio incendio"

SOSTANZA	TEMP. di FLASH POINT (°C)	CATEGORIA
Benzina	-20	A
Alcool metilico	11	A
Alcool etilico	13	A
Gasolio	55	B
Olio lubrificante	149	C

2.2.3 Infiammabilità di gas e vapori

L'infiammabilità di gas o vapori è legata al valore della loro composizione in miscela con il comburente, che deve essere compresa all'interno di due limiti che ne individuano il *campo di infiammabilità* (o di esplosività).

Si definisce *Limite inferiore d'infiammabilità* (LFL o LEL) la più bassa concentrazione in volume di vapore in miscela, al di sotto della quale pur in presenza di innesco non si ha accensione in quanto il combustibile è presente in quantità insufficiente. Il *Limite superiore d'infiammabilità* (UFL o UEL) è quindi la concentrazione in volume massima accettabile di combustibile in miscela che può essere innescata, oltre la quale scarseggia il comburente. Questi due limiti subiscono l'effetto della temperatura, il cui aumento produce un ingrandimento del campo di infiammabilità e della pressione, il cui effetto non è sempre esercitato nello stesso senso in quanto è specifico di ogni miscela.

Tabella 2.6. Limiti di infiammabilità di alcuni gas e vapori, tratti da Crowl, Louvar- Chemical process safety : fundamentals with applications, 2nd ed, Prentice Hall PTR, 2002

SOSTANZA	CAMPO DI INFIAMMABILITA'	
	Limite inferiore (% in Vol)	Limite superiore (% in Vol)
Idrogeno	4	75
Metano	5	15
Butano	1,8	8,4

n-Esano	1,1	7,5
Benzina	1,7	7,6
Toluene	1,2	7,1
Metanolo	6,7	36
Etanolo	3,3	19

Quando il combustibile è una miscela a più componenti, i limiti di infiammabilità si calcolano, attraverso criteri di addittività, a partire da quelli dei singoli composti, attraverso, ad esempio, la relazione empirica di Le Chatelier, nota come una “legge della miscela”. Tale relazione si basa sull'assunzione che una miscela omogenea di “miscele limite” sia essa stessa una miscela limite. I risultati basati sul criterio di addittività vanno considerati con estrema prudenza, in particolar modo se in presenza di composti con diverse strutture chimiche, che tendono a reagire diversamente e ad influenzarsi a vicenda. Esistono altre relazioni empiriche, cui sono sempre da preferire dati sperimentali, se presenti, per calcolare gli effetti di temperatura e pressione sui limiti e la loro stima a partire dalla concentrazione stechiometrica in aria. La temperatura, agendo su tensione di vapore, velocità di reazione, sui limiti di infiammabilità, sulla velocità di propagazione della fiamma, influenza notevolmente le caratteristiche di infiammabilità di gas e vapori. In generale, un aumento della temperatura produce un allargamento della zona di infiammabilità, con particolare effetto sul limite superiore. Questo ampliamento si traduce nella necessità di introdurre una maggior quantità di inerte per riuscire a rendere la miscela non infiammabile. Non solo la temperatura, anche la pressione è in grado di provocare delle variazioni al campo di infiammabilità, ma meno marcate e con un effetto non semplice da identificare, in quanto non esercitato sempre nello

2.2 I principi della combustione

stesso senso e specifico di ciascuna miscela. In generale comunque una diminuzione della pressione si traduce in una riduzione del campo di infiammabilità, solo nel caso di variazioni apprezzabili di pressione.

Un altro parametro importante è la concentrazione minima di ossigeno (in %) che permette la propagazione della fiamma, di questo esistono dati tabulati, come da tabella a seguito.

Tabella 2.7. Valori di concentrazione minima di ossigeno, tratti da Crowl, Louvar- Chemical process safety : fundamentals with applications, 2nd ed, Prentice Hall PTR, 2002

Gas or vapor	N ₂ /Air	CO ₂ /Air	Gas or vapor	N ₂ /Air	CO ₂ /Air
Methane	12	14.5	Kerosene	10 (150°C)	13 (150°C)
Ethane	11	13.5	JP-1 fuel	10.5 (150°C)	14 (150°C)
Propane	11.5	14.5	JP-3 fuel	12	14.5
<i>n</i> -Butane	12	14.5	JP-4 fuel	11.5	14.5
Isobutane	12	15	Natural gas	12	14.5
<i>n</i> -Pentane	12	14.5	<i>n</i> -Butyl chloride	14	–
Isopentane	12	14.5		12 (100°C)	–
<i>n</i> -Hexane	12	14.5	Methylene chloride	19 (30°C)	–
<i>n</i> -Heptane	11.5	14.5		17 (100°C)	–
Ethylene	10	11.5	Ethylene dichloride	13	–
Propylene	11.5	14		11.5 (100°C)	–
1-Butene	11.5	14	Methyl chloroform	14	–
Isobutylene	12	15	Trichloroethylene	9 (100°C)	–
Butadiene	10.5	13	Acetone	11.5	14
3-Methyl-1-butene	11.5	14	<i>t</i> -butanol	NA	16.5 (150°C)
Benzene	11.4	14	Carbon disulfide	5	7.5
Toluene	9.5	–	Carbon monoxide	5.5	5.5
Styrene	9.0	–	Ethanol	10.5	13
Ethylbenzene	9.0	–	2-Ethyl butanol	9.5 (150°C)	–
Vinyltoluene	9.0	–	Ethyl ether	10.5	13
Diethylbenzene	8.5	–	Hydrogen	5	5.2
Cyclopropane	11.5	14	Hydrogen sulfide	7.5	11.5
Gasoline			Isobutyl formate	12.5	15
(73/100)	12	15	Methanol	10	12
(100/130)	12	15	Methyl acetate	11	13.5
(115/145)	12	14.5			

¹Data from NFPA 68, *Venting of Deflagrations* (Quincy, MA: National Fire Protection Association, 1994).

Le relazioni tra i limiti di infiammabilità e le proprietà di gas e vapori sono riassunte nella Figura 2.8.

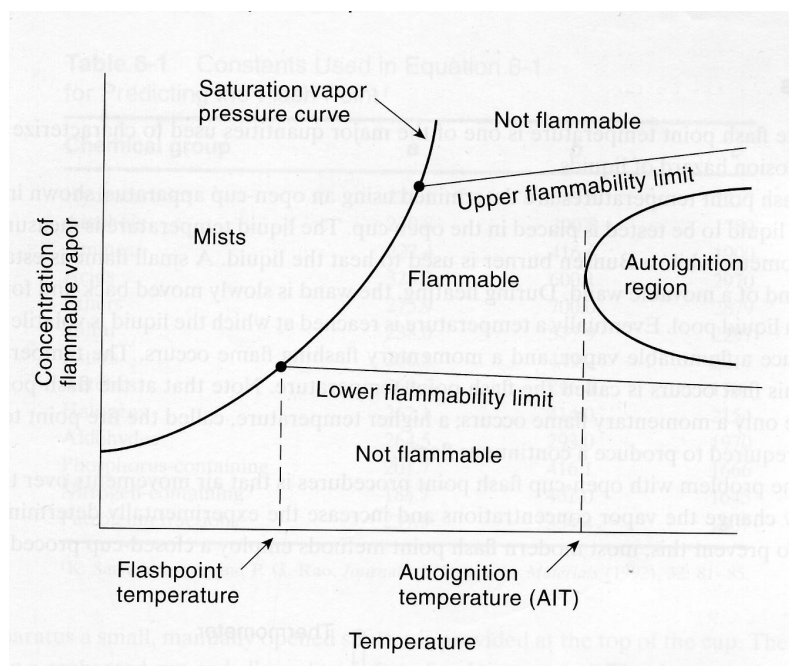


Figura 2.8. Relazioni tra le proprietà infiammabili di gas e vapori, tratte da Crowl, Louvar-
Chemical process safety : fundamentals with applications, 2nd ed, Prentice Hall PTR, 2002

Tra le proprietà di infiammabilità di gas e vapori è indicato, in Figura 2.8, un ulteriore parametro, la Temperatura di Autoignizione.

Questa, in generale, viene definita come la minima temperatura alla quale una sostanza (solido, liquido, gas che sia) inizia a bruciare spontaneamente in presenza di ossigeno, senza sorgente esterna di innesco: la temperatura stessa costituisce innesco efficace per la combustione. Si parla comunque di spontaneità ma non di istantaneità, esiste infatti un periodo di tempo più o meno breve definito “periodo di

2.2 I principi della combustione

induzione” o “ritardo all'accensione” , che varia a seconda della miscela e della temperatura, solitamente aumenta mano a mano che la temperatura si avvicina a quella di autoaccensione. E' possibile per esempio esporre una miscela metano-aria, caratterizzata da una temperatura di ignizione di 580°C ad un getto di gas a temperatura superiore, purchè per brevissimo tempo.

Va sottolineato che tale temperatura non può essere considerata un valore fondamentale perchè è legata al sistema nel quale viene misurata e risente degli stessi fattori che influenzano la velocità di reazione in fase gassosa:

- Volume del reattore e sua geometria, in particolare il rapporto superficie/volume;
- Presenza di inerti (N₂, CO₂, vapore d'acqua...);
- Pressione;
- Presenza di additivi (inibitori o promotori);
- Stato fisico del combustibile (nebbia, vapore);
- Fiamme fredde;
- Ritardo all'accensione;
- Effetti superficiali (materiale che costituisce il recipiente)

Giusto a titolo informativo, la seguente Tabella, che riporta tra i differenti valori presenti in letteratura, quelli più conservativi.

Tabella 2.7. Valori indicativi di Temperatura di autoignizione per sostanze significative

SOSTANZA	TEMP. AUTOIGNIZIONE (°C) (valore indicativo)
Metano	537
Benzina	246
Idrogeno	570
Esano	220
Carta	230
Legno	220-250
Gomma sintetica	300
Lana	205

Classificazione dei gas infiammabili

E' possibile classificare i gas infiammabili a seconda della modalità di stoccaggio.

Gas compressi: sono conservati allo stato gassoso ad una pressione superiore a quella atmosferica, in bombole, vedi per esempio idrogeno, metano, monossido di carbonio.

2.2 I principi della combustione

Tabella 2.8. Pressione di stoccaggio di alcuni gas compressi, tratta da presentazione di Paduano, "Il rischio incendio"

GAS	PRESSIONE DI STOCCAGGIO (bar) valori indicativi
idrogeno	250
ossigeno	250
aria	250
metano	300
CO ₂	20

Gas liquefatti: sono gas che a temperatura ambiente, con piccole pressioni vengono liquefatti, solitamente sono idocarburi e loro miscele, con il vantaggio di un grande risparmio di spazio, si parla di un rapporto quasi 1/800, cioè da 1 litro di gas allo stato liquido, se ne ottengono 800 allo stato gassoso. Esempi di questi gas sono sicuramente il propano, l'ammoniaca, il cloro, il GPL;

Gas disciolti: sono conservati allo stato gassoso, sciolti dentro un liquido, ad una determinata pressione, vedi per esempio l'acetilene;

Gas refrigerati: sono gas liquefatti a basse temperature, questo permette di conservarli a pressioni parecchio inferiori rispetto ai gas compressi, vedi per esempio l'azoto liquido, la cui pressione è assimilabile a quella atmosferica.

2.2.3 L'innesco

L'innesco è quell'elemento che a contatto con una miscela combustibile-aria, compresa nei limiti di infiammabilità, le fornisce l'energia indispensabile per accendersi. Si definisce energia minima di innesco (MIE) la più piccola quantità in grado di innescare una combustione che si propaga. Questo valore varia con la composizione della miscela, è minima in corrispondenza della concentrazione stechiometrica e massima in prossimità dei limiti di infiammabilità.

Le sorgenti di innesco sono davvero molteplici, per tipologia, per energia fornita, durata, però possono essere raggruppate per categorie:

- Accensione diretta

Si parla di accensione diretta quando fiamme libere, materiali incandescenti, scintille elettriche entrano in contatto con un combustibile in presenza di ossigeno.

Esempi: mozzicone di sigaretta, fiammifero, operazioni di taglio, saldatura.

- Accensione indiretta

Quando il calore d'innesco viene fornito per convezione, conduzione, irraggiamento termico.

2.2 I principi della combustione

Esempi: superficie calda, irraggiamento solare.

- Attrito o urto

Il calore è generato dallo sfregamento di due materiali.

Esempi: caduta di oggetti, malfunzionamento di cuscinetti, motori.

- Autocombustione o riscaldamento spontaneo

Il calore viene prodotto dallo stesso combustibile, è il caso per esempio delle sostanze piroforiche che a temperatura ambiente esposte all'aria, si accendono spontaneamente (oppure si ossidano così rapidamente da diventare incandescenti).

Esempi: nichel Raney.

- Cariche elettrostatiche

Oltre a queste è importante fare cenno delle scariche elettrostatiche, individuate come cause di diversi incidenti, in quanto in grado di liberare energia sufficiente all'innesco. La formazione di cariche elettrostatiche è riconducibile a molteplici situazioni, spesso legate ad operazioni di trasferimento, travaso, miscelazione,

agitazione. Il pericolo si concretizza quando tali cariche si ricombinano velocemente dopo essere state separate o quando vengono scaricate.

La Figura 2.9 mette a confronto le energie minime di innesco di gas e vapori con le energie sviluppate dai diversi tipi di scarica elettrostatica

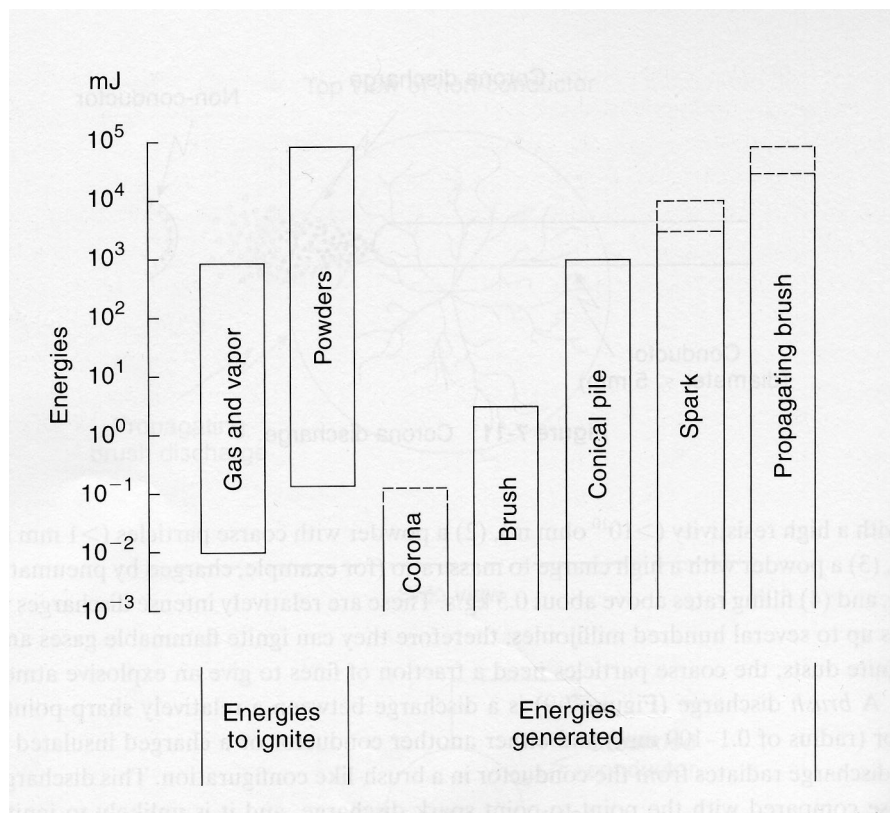


Figura 2.9. Confronto energie minime di innesco di gas e vapori ed energia di scintille elettrostatiche, tratto da Crowl, Louvar- Chemical process safety : fundamentals with applications, 2nd ed, Prentice Hall PTR, 2002

2.3 Incendi

L'incendio è una combustione incontrollata, che si sviluppa senza limiti di tempo e spazio.

Nell'Allegato V del D.M. 10 Marzo 1998 “ Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro”, gli incendi sono classificati, a seconda del tipo di combustibile, come segue:

- Classe A: incendi di *materiali solidi*, usualmente di natura organica, che portano alla formazione di braci;
- Classe B: incendi di *materiali liquidi o solidi liquefacibili*, quali petrolio, paraffina, oli, vernici, grassi ecc;
- Classe C: incendi di *gas*;
- Classe D: incendi di *sostanze metalliche*.

In tale allegato, vengono inoltre indicati gli estinguenti più idonei, a seconda della Classe di appartenenza:

- per incendi di Classe A: acqua, schiuma e polvere;
- per incendi di Classe B: schiuma, polvere e anidride carbonica;
- per incendi di Classe C: la cosa più importante per questa tipologia di incendi è intercettare quanto prima la perdita di gas, perchè c'è il rischio

esplosione se si estingue un incendio da gas il cui flusso non sia stato intercettato;

- per incendi di Classe D: servono delle polveri speciali e personale particolarmente addestrato.

L'estinzione di un incendio, se non avviene spontaneamente per esaurimento del combustibile, necessita dell'utilizzo di sostanze particolari, definite appunto “estinguenti”, che adottano a tal scopo differenti azioni, riassunte in Tabella 2.9.

Tabella 2.9. Sostanze estinguenti e loro azione

Tipo di agente	Azione estinguente	Caratteristiche
H ₂ O	<ul style="list-style-type: none"> • Abbassamento della temperatura • Azione di soffocamento • Diluizione sostanze infiammabili • inibizione di combustibili solidi 	<ul style="list-style-type: none"> • Facile da reperire • Costa poco • Da non usare su parti in tensione elettrica • non funziona su idrocarburi leggeri
Schiuma	<ul style="list-style-type: none"> • Separazione del combustibile dal comburente • Azione di soffocamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Classificata ad alta-media -bassa espansione • Da non usare in parti in tensione elettrica

2.3 Incendi

Polveri	<ul style="list-style-type: none">• Azione di separazione• Azione di inibizione chimica• Azione di raffreddamento	
Gas inerti	<ul style="list-style-type: none">• Abbassamento della temperatura• Riduzione della concentrazione di comburente	

Gli incendi vengono suddivisi generalmente a seconda della tipologia di spazio nel quale hanno origine: si parla di incendi non confinati, confinati o semiconfinati, per indicare se avvengono all'aperto oppure all'interno di uno spazio più o meno chiuso, come una stanza, un capannone. L'evoluzione iniziale è simile per entrambi i casi, all'aumentare però della potenza e dell'estensione, gli effetti del confinamento iniziano a diventare determinanti e si traducono in due modalità contrapposte: da una parte possono limitare la disponibilità di ossigeno, dall'altra si assiste all'irraggiamento verso il combustibile degli elementi caldi, fumi, soffitto, pareti.

Esistono due possibili regimi di combustione, per i quali un incendio può essere controllato dalla ventilazione oppure dall'addensamento del combustibile. Nel primo caso, la velocità di combustione dipende dalla quantità di aria che alimenta l'incendio, nel secondo caso dalla geometria del combustibile.

I parametri che caratterizzano un incendio sono diversi:

- Temperatura massima raggiunta e la velocità di aumento della temperatura nei prodotti di combustione;
- Quantità di calore liberata e la velocità di sviluppo di tale calore;
- La durata dell'incendio, che non è altro che il tempo necessario per raggiungere la temperatura massima di fumi;
- Il carico di incendio, che viene definito come il rapporto tra la massima quantità di calore sviluppata per combustione completa, in assenza di dispersioni, da tutti i vari combustibili, e l'area in pianta del locale in esame. Convenzionalmente il carico di incendio è espresso in kg legno equivalente, cui è attribuito un valore di 4400 kcal/kg.

L'evoluzione, rispetto al tempo, di un incendio in termini di variazione della temperatura media dei prodotti di combustione, può essere schematizzata come da Figura 2.10.

2.3 Incendi

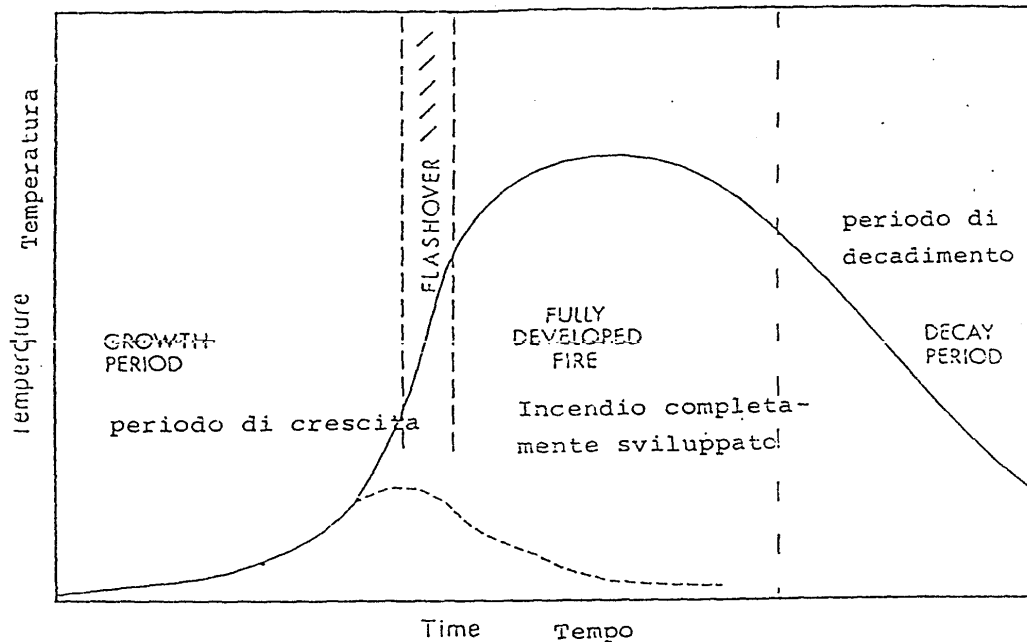


Figura 2.10 Evoluzione incendio, tratto da Piccinini,Cardillo-Gas,vapori e polveri a rischio di esplosioni e incendio,Politecnico di Torino

Il decorso prevede tre stadi principali:

1. Stadio di sviluppo o "pre-flashover": la temperatura media dei gas è bassa e l'incendio è localizzato in prossimità del punto di origine. La temperatura varia poco con il tempo perchè il calore viene utilizzato per elevare la temperatura dei materiali combustibili oltre quella di autoaccensione, per riscaldare l'aria circostante e i materiali combustibili in prossimità del focolaio;
2. Stadio di completo sviluppo o di "flashover": la temperatura ha un incremento molto rapido in quanto sono aumentati i materiali coinvolti nella

combustione e l'incremento della temperatura induce un aumento della velocità di combustione stessa. L'incendio si propaga e la velocità di liberazione del calore raggiunge il valore massimo.

3. Stadio di decadimento: la temperatura diminuisce in quanto prevale la disperione del calore attraverso i fumi e l'irraggiamento verso le zone più fredde.

La velocità di crescita di un incendio è stata suddivisa in categorie a seconda del tempo, t_1 , che ci mette a raggiungere la soglia di 1 MW di potenza.

Tabella 2.10. Categorie di velocità di crescita di un incendio, tratta da Fiorentini, Marmo-La valutazione dei rischi di incendio : norme e standard internazionali di riferimento, metodi e tecniche di analisi, definizione della strategia antincendio, gestione del rischio nel tempo, casi studio ed esempi applicativi, EPC,2011

CATEGORIE	t_1 [s]
Lento	600
Medio	300
Veloce	150
Velocissimo	75

Giusto a titolo informativo, la tabella che segue raccoglie valori di t_1 , relativi a materiali d'uso comune, tali dati sono puramente orientativi, viste le svariate variabili che li influanzano.

Tabella 2.11. Valori caratteristici di t_1 , tratti da Heskestad G., 1991

2.3 Incendi

CATEGORIA	t_1 , [s]
Bancali di legno impilati, altezza 45 cm	155÷310
Bancali di legno impilati, altezza 1.5 m	92÷187
Bancali di legno impilati, altezza 3 m	77÷115
Bancali di legno impilati, altezza 4.8 m	72÷115
Rotoli di carta verticali, impilati, altezza 6 m	16÷26
Abbigliamento, cotone e poliestere, scaffali altezza 4m	21÷42
Carta, densamente confezionata in scatole di cartone, stoccaggio in scaffale, altezza 6 m	461
Taniche di polietilene di scarto, impilate. Altezza 4.5 m	53
Bottiglie di polietilene stipate in scatole di cartone, altezza 4.5 m	82
Bancali in polietilene, impilati, altezza 1 m	145
Bancali in polietilene, impilati, altezza 2 m	31÷55
Singolo materasso in poliuretano, orizzontale	115
Vasche di polistirene impilate in scatole di cartone, impilate, altezza 4.5 m	115
Film di polietilene e polipropilene in rotoli impilati altezza 4 m	38
Lastre isolanti in schiuma rigida di polistirene impilate, altezza 4 m	6

2.4 Esplosioni

L'esplosione è l'accensione di una miscela di una sostanza infiammabile in aria, con conseguente rapida espansione del volume o aumento della pressione, a seconda che l'azione avvenga oppure no in uno spazio confinato (questa definizione la distingue dalle più lente reazioni di ossidazione). Tale accensione fa partire la reazione chimica, che produce calore, che viene ceduto alla miscela adiacente generando un fronte di reazione (o di fiamma) che si muove dai gas combustibili alla miscela fresca, propagando l'innescò. Dalla velocità di conduzione del calore dipende la velocità con cui il fronte di fiamma si propaga e a seconda del valore che raggiunge e della sua conformazione si distingue:

- Deflagrazione

È un'esplosione caratterizzata da un fronte di fiamma che si mantiene piano o comunque con conformazione netta, che procede con velocità subsonica. Presentano quest'evoluzione di solito le esplosioni di gas o polveri aerodisperse, anche se, nel caso di esplosione all'interno di un condotto lungo, una galleria, c'è la possibilità che si possa trasformare in una detonazione.

2.4 Esplosioni

- Detonazione

E' un'esplosione il cui fronte di fiamma ha una conformazione molto frastagliata, a causa della turbolenza, che procede con velocità supersonica. Si creano quindi delle onde di compressione, che precedono il fronte di reazione e che si propagano nella miscela combustibile come *onda d'urto*. Questo fenomeno è tipico delle sostanze esplosive vere e proprie chiamate infatti detonanti.

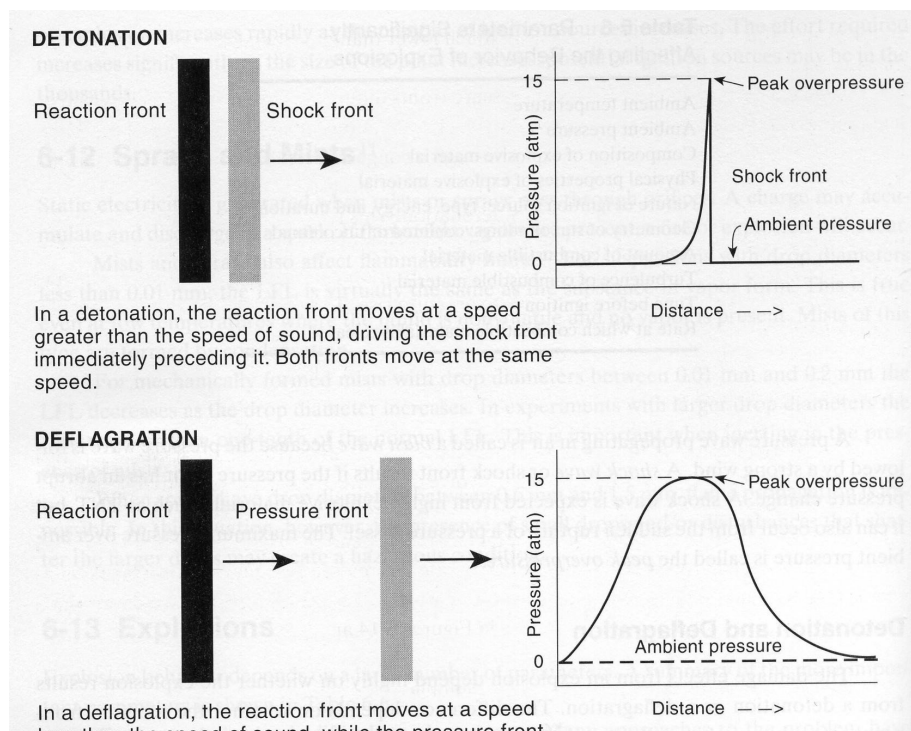


Figura 2.10. Onda di pressione e fronte di pressione del caso di detonazioni e deflagrazioni, tratta

da Lees' loss prevention in the process industries, 3rd ed., Sam Mannan, 2005

L'energia rilasciata dall'esplosione, viene dissipata da una varietà di fenomeni quali un'onda di pressione, irraggiamento, energia acustica, lancio di frammenti e/o missili.

Un'esplosione si definisce:

- *meccanica*, se dovuta alla rottura di un recipiente in pressione che contiene un gas non reattivo;
- *chimica*, se generata da una rapida espansione dei gas prodotti da una reazione chimica veloce, a seguito di espansione termica del gas oppure della variazione, di solito contenuta, del suo numero di moli;
- *fisica*, se dovuta alla rapida espansione di un gas liquefatto anche se stoccato a pressione ambiente
- *confinata*, se avviene all'interno di un recipiente, di un edificio, e proprio il confinamento fa sì che ci sia un incremento significativo di pressione;
- *non confinata*, se avviene all'aperto. Solitamente si verifica per la fuoriuscita di gas/ vapori infiammabili.

A seconda del tipo di esplosione, si sviluppa energia meccanica o chimica la cui

2.4 Esplosioni

stima, di quest'ultima si rifà al calcolo dell'energia libera di Gibbs. Per la valutazione dell'energia liberata da un gas compresso, esistono quattro metodi validi, in letteratura [1], cui si rimanda per la trattazione:

- Equazione di Brode
- Espansione isentropica
- Espansione isoterma
- Disponibilità termodinamica

L'utilizzo del termine “violenza” dell'esplosione ha un significato puramente intuitivo, per esprimere gli effetti di tale esplosione si possono utilizzare differenti grandezze misurabili, tipiche delle caratteristiche proprie del materiale e determinabili sperimentalmente attraverso l'utilizzo di apparecchiature specifiche. E' il caso della pressione massima di esplosione (P_{max}) e della massima velocità di aumento dell'esplosione (k_g per i gas, k_{st} per le polveri), legate assieme da relazioni, che permettono la loro rappresentazione in un grafico P-tempo.

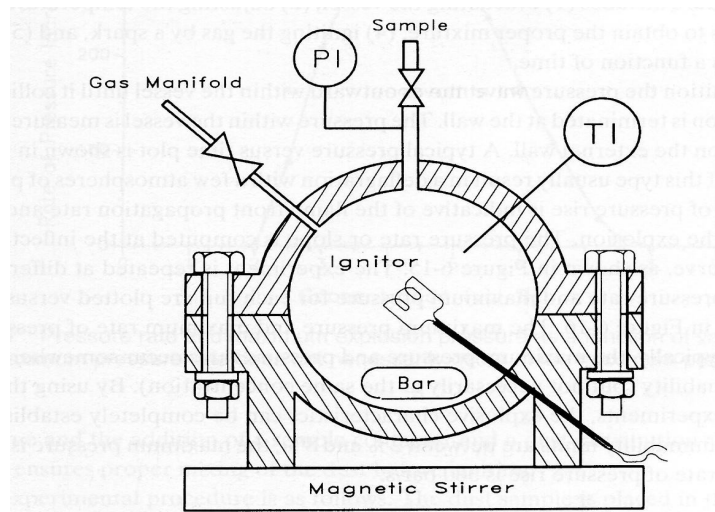


Figura 2.11. Apparecchio sferico per la misura di P_{max} e K_g , tratto da Lees' loss prevention in the process industries, 3rd ed., Sam Mannan, 2005

Si riportano alcuni dati caratteristici per gas, vapori e polveri.

Tabella 2.12. Indici di esplosione caratteristici per gas e vapori, tratti da Lees' loss prevention in the process industries, 3rd ed., Sam Mannan, 2005

2.4 Esplosioni

Chemical	Maximum pressure P_{max} (bar g)			Deflagration index K_G (bar-m/s)		
	NFPA 68 (1997)	Bartknecht (1993)	Senecal and Beaulieu (1998)	NFPA 68 (1997)	Bartknecht (1993)	Senecal and Beaulieu (1998)
	Acetylene	10.6			109	
Ammonia	5.4			10		
Butane	8.0	8.0		92	92	
Carbon disulfide	6.4			105		
Diethyl ether	8.1			115		
Ethane	7.8	7.8	7.4	106	106	78
Ethyl alcohol	7.0			78		
Ethyl benzene	6.6	7.4		94	96	
Ethylene			8.0			171
Hydrogen	6.9	6.8	6.5	659	550	638
Hydrogen sulfide	7.4			45		
Isobutane			7.4			67
Methane	7.05	7.1	6.7	64	55	46
Methyl alcohol		7.5	7.2		75	94
Methylene chloride	5.0			5		
Pentane	7.65	7.8		104	104	
Propane	7.9	7.9	7.2	96	100	76
Toluene		7.8			94	

¹Data selected from:
 NFPA 68, *Venting of Deflagrations* (Quincy, MA: National Fire Protection Association, 1997).
 W. Bartknecht, *Explosions-Schutz: Grundlagen und Anwendung* (New York: Springer-Verlag, 1993).
 J. A. Senecal and P. A. Beaulieu, "K_G: Data and Analysis," in *31st Loss Prevention Symposium* (New York: American Institute of Chemical Engineers, 1997).

Tabella 2.13. Indici di esplosione caratteristici delle polveri, tratti da Lees' loss prevention in the process industries, 3rd ed., Sam Mannan, 2005

Dust	Deflagration index, K_{St} (bar m/s)		St class		Minimum ignition energy (mJ)
	Median particle size (μm)	Minimum explosive dust concentration (g/m^3)	P_{max} (bar g)	K_{St} (bar-m/s)	
	0			St-0	
	1-200			St-1	
	200-300			St-2	
	>300			St-3	
Cotton, wood, peat					
Cotton	44	100	7.2	24	-
Cellulose	51	60	9.3	66	250
Wood dust	33	-	-	-	100
Wood dust	80	-	-	-	7
Paper dust	<10	-	5.7	18	-
Feed, food					
Dextrose	80	60	4.3	18	-
Fructose	200	125	6.4	27	180
Fructose	400	-	-	-	>4000
Wheat grain dust	80	60	9.3	112	-
Milk powder	165	60	8.1	90	75
Rice flour	-	60	7.4	57	>100
Wheat flour	50	-	-	-	540
Milk sugar	10	60	8.3	75	14
Coal, coal products					
Activated carbon	18	60	8.8	44	-
Bituminous coal	<10	-	9.0	55	-
Plastics, resins, rubber					
Polyacrylamide	10	250	5.9	12	-
Polyester	<10	-	10.1	194	-
Polyethylene	72	-	7.5	67	-
Polyethylene	280	-	6.2	20	-
Polypropylene	25	30	8.4	101	-
Polypropylene	162	200	7.7	38	-
Polystyrene (copolymer)	155	30	8.4	110	-
Polystyrene (hard foam)	760	-	8.4	23	-
Polyurethane	3	<30	7.8	156	-
Intermediate products, auxiliary materials					
Adipinic acid	<10	60	8.0	97	-
Naphthalene	95	15	8.5	178	<1
Salicylic acid	-	30	-	-	-

(continued)

Una trattazione semplificata permette di associare i danni provocati dall'esplosione esclusivamente alla sovrappressione generata, per il cui calcolo esistono sostanzialmente due metodi analitici, qui semplicemente indicati:

- Metodo del TNT equivalente
- Metodo Multi-energy

2.4.1 Esplosioni di polveri

Meritano sicuramente un cenno l'esplosioni di polveri, in quanto presentano peculiarità che le distinguono dalle esplosioni di gas. Si rimanda a letteratura specifica [2] per una trattazione più dettagliata.

Per polveri si intendono materiali solidi combustibili, suddivisi in particelle di diametro inferiore ai 500 μm , dispersi in aria a formare una nube, che possono se innescati bruciare rapidamente e dar luogo ad un'esplosione come se si trattasse di una nube di gas.

La dinamica incidentale è caratteristica in quanto presenta comunemente lo sviluppo di due distinti fenomeni:

- esplosione *primaria*, che coinvolge quella porzione di polvere aerodispersa, la cui espansione e i conseguenti moti convettivi non solo provocano danni strutturali diretti, ma sollevano anche le polveri eventualmente disperse in condotti o negli ambienti coinvolti;
- esplosione *secondaria*, cui partecipano le polveri risollevate da quella primaria, amplificandone significativamente gli effetti distruttivi.

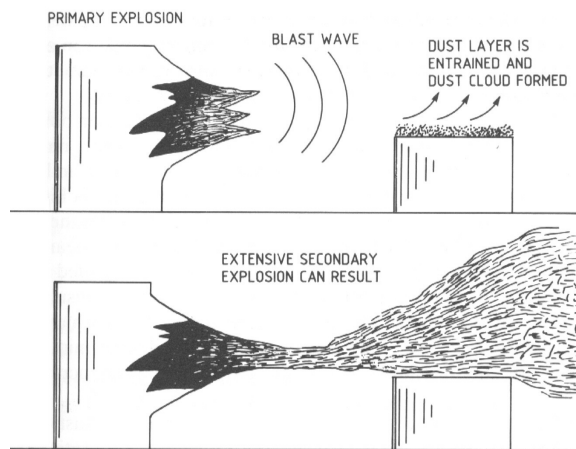


Figura 2.12. Esplosione primaria e secondaria di polveri, tratta da Rolf K Eckhoff - Dust explosions in the process industries, Butterworld Heinemann, 1997

Per determinare la pericolosità di una miscela esplosiva di polvere in aria, si effettuano delle prove secondo la normativa UNI EN 26184, che ne definisce le procedure e le apparecchiature, di volume pari a 20 l o ad 1 m³ (vedi Figura 2. 13) grazie alle quali, misurando l'evoluzione della pressione con il tempo, si segue il decorso dell'esplosione stessa.

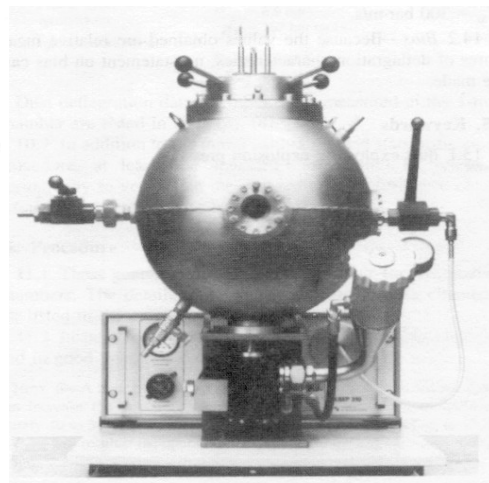
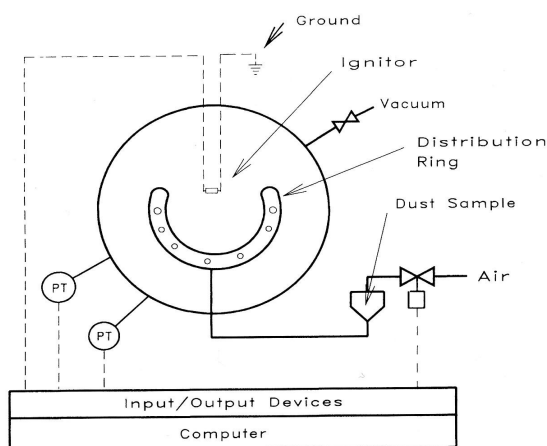


Figura 2.13. Apparato di Siwek per la misurazione di P_{max} e k_{st} da norma ASTM E 1226-00 e UNI-EN 26184, tratto da Rolf K Eckhoff - Dust explosions in the process industries, Butterworld Heinemann, 1997

2.4 Esplosioni

Per questa norma, durante le prove vengono individuati due indici di esplosione:

- **Indice di esplosione p_m** , pari alla massima pressione raggiunta nel corso dell'esplosione (p_m)
- **Indice di esplosione k_m** , pari alla massima velocità di aumento della pressione $(dp/dt)_m$ riferito ad un recipiente di prova con volume di 1 m³.

Tali indici dipendono da numerosi fattori, in particolare dalla concentrazione di polvere e di ossigeno.

Per superare l'influenza della concentrazione della polvere, la norma UNI EN 26184, parte 1, prevede che la sospensione sia caratterizzata attraverso due indici di esplosione che sono:

- **Indice di esplosione p_{max}** : massimo valore di p_m in funzione della concentrazione di polvere;
- **Indice di esplosione k_{ST}** : massimo valore di k_m in funzione della concentrazione di polvere

Anche per le miscele polvere-aria, perchè possano essere innescate ed esplodere, occorre che la concentrazione di combustibile sia compresa tra un minimo (LEL) ed un massimo (UEL). Tali limiti di concentrazione minima e massima esplodibile dipendono da moltissime variabili:

- condizioni dello strato superficiale della particella
- dimensioni della particella
- temperatura e pressione
- presenza di gas inerti
- presenza di polveri inerti

Questi limiti non costituiscono un riferimento effettivamente valido per le polveri, al contrario che per i gas, perchè oltre a dipendere da tutti questi fattori, il limite superiore è complicato da individuare sperimentalmente, quindi non viene determinato. In particolare poi è praticamente impossibile ottenere un sistema omogeneo polvere-aria con composizione uniforme in quanto solitamente intervengono fenomeni di segregazione.

2.5 Scenari incidentali

Nell'industria gli scenari incidentali che provocano incendi o esplosioni sono di varia natura e la loro evoluzione segue dinamiche differenti tra di loro, solitamente si ha a che fare con grandi quantità di combustibili gassosi o liquidi, spesso a seguito di rilasci incontrollati. A seconda del tipo di rilascio, si possono identificare scenari caratteristici, schematizzati nella Figura 2.14.

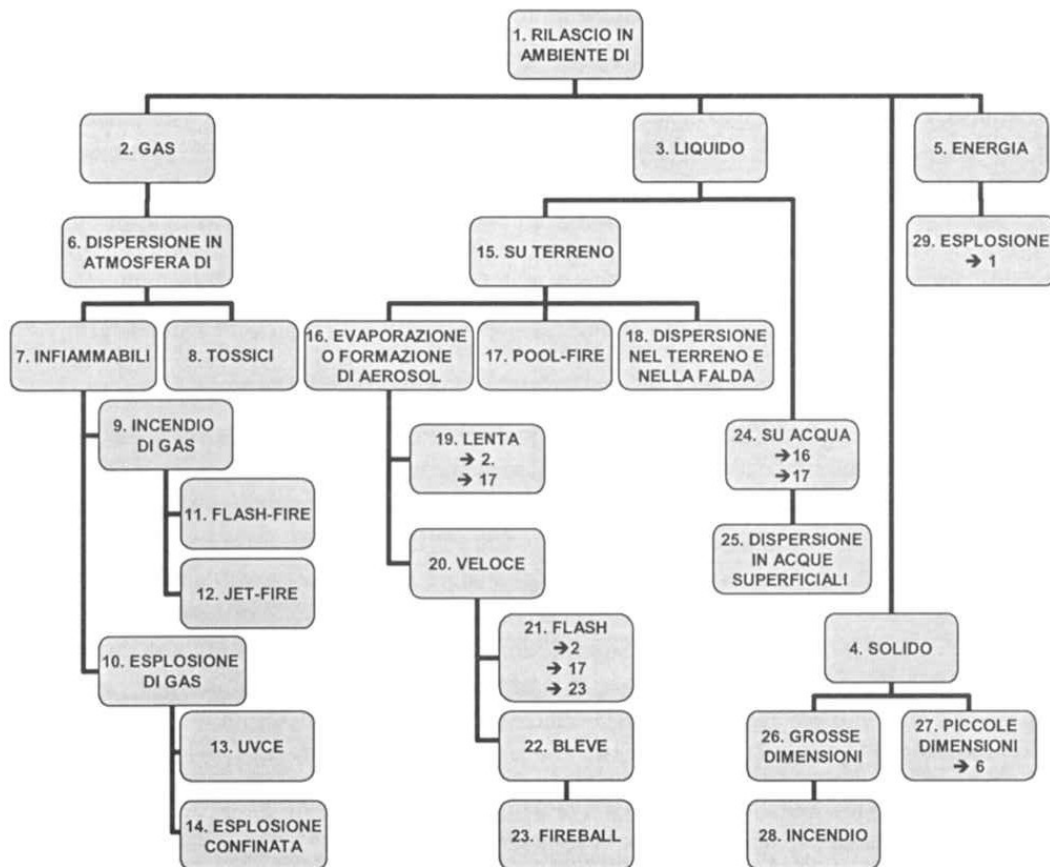


Figura 2.14. Scenari incidentali e loro genesi, tratti da Fiorentini, Marmo-La valutazione dei rischi di incendio : norme e standard internazionali di riferimento, metodi e tecniche di analisi, definizione della strategia antincendio, gestione del rischio nel tempo, casi studio ed esempi applicativi, EPC,2011

Le sorgenti di tali rilasci possono essere differenti, riconducibili a impianti, attrezzature, macchine, serbatoi sia chiusi che aperti, ma non solo, posti più o meno sopra il livello del suolo, all'interno di edifici, oppure all'aria aperta. Questo contribuirà a caratterizzare gli effetti prodotti. I rilasci di sostanze tossiche, infiammabili, energia, possono quindi essere conseguenza dell'incidente, è il caso dell'esplosione meccanica di un sistema, oppure la causa stessa che li ha generati.

Per gli incendi:

- Flash Fire

Il Flash Fire è un'improvvisa fiammata di breve durata, dell'ordine di pochi secondi, causata dall'innesco di solidi, vapori o gas e caratterizzata da un fronte di fiamma rapido ma subsonico.

- Jet Fire

L'ignizione di una miscela comburente e combustibile gassoso che viene rilasciato incessantemente, in una o più direzioni e con una forza significativa genera il Jet Fire, un "getto" di fuoco caratterizzato da una diffusione violenta. La causa all'origine è quindi il rilascio di una sostanza gassosa, poi innescata, da un recipiente in pressione, per foratura di una tubazione, di un serbatoio. Il jet fire può assumere differenti forme, getto orizzontale, verticale, inclinato, in quanto dipende sia dalle condizioni locali, quali presenza o no di vento, sia dalla configurazione geometrica.

2.5 Scenari incidentali



Foto 2.1. Esempio di jet fire verticale

I parametri da individuare per il calcolo della potenza irradiata risultano quindi molteplici, se ne cita qualcuno a titolo di esempio:

- Quantità di combustibile che prende parte alla reazione
- Distanza raggiunta dal getto
- Distanza del foro dal punto di ignizione

Tali parametri risultano a loro volta legati ad altre condizioni: il diametro del foro, la pressione interna al recipiente e molte altre. Il tutto contribuisce a rendere la modellazione del jet fire assai complessa, si rimanda alla letteratura [1] per una trattazione approfondita e dettagliata.

- Pool Fires

Pool fire o incendio di pozza ha origine dallo sversamento di liquido combustibile o infiammabile, la cui fiamma ha una dimensione orizzontale pari circa allo sversamento stesso e altezza superiore, circa il doppio. Può essere confinato o no, a seconda che tale sversamento avvenga in un contenitore, ad esempio, oppure su terreno libero.



Foto 2.2. Esempio di un Pool Fire

Quando il combustibile viene sversato su acqua, il pool fire può dare origine, sotto determinate condizioni, al fenomeno detto “boilover” che consiste nell'ebollizione dell'acqua sottostante con conseguente trascinarsi in fiamma di una grande quantità di combustibile. E' un fenomeno improvviso che aumenta la velocità di combustione anche di un ordine di grandezza.

2.5 Scenari incidentali

Per stimare la potenza radiante emessa dal pool fire e ricevuta da un obiettivo occorre individuare:

- Geometria della fiamma
- Caratteristiche della fiamma
- Velocità di combustione
- Irraggiamento- fattori vista

Di solito si tende a modellare la fiamma come un cilindro (raramente come un cono) anche se risultano fondamentali modellazioni che tengono conto dell'inclinazione della fiamma, vedi in caso di vento forte.

Per le equazioni e per i metodi di calcolo, i medesimi utilizzati per fireball, si rimanda al Lee's [1].

- Fireballs

Fireball, letteralmente “sfera di fuoco” ha origine da due eventi, quali:

- Collasso di un recipiente di contenimento di gas combustibile liquefatto, con successiva vaporizzazione e innesco del contenuto, è il caso tipico del GPL;
- Più raro, l'innesco di una nube di gas combustibile, che solitamente tende a dar origine ad un flash fire.

In entrambi i casi la nube di combustibile brucia con fiamma diffusiva, come da

Figura 2.15.

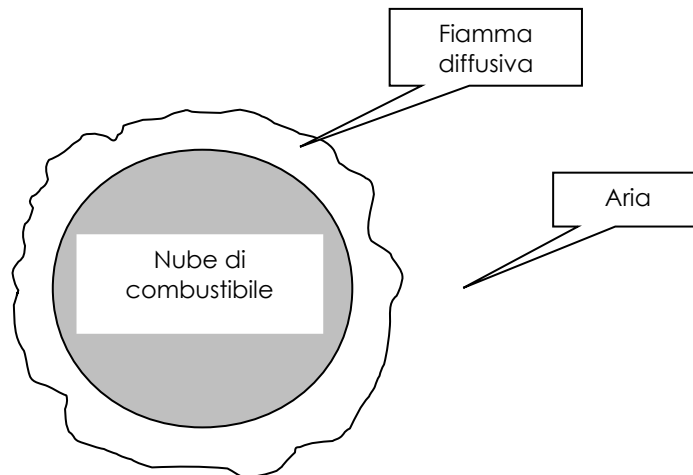


Figura 2.15. Rappresentazione schematica di un fireball in fase stazionaria, tratta da da Fiorentini, Marmo-La valutazione dei rischi di incendio : norme e standard internazionali di riferimento, metodi e tecniche di analisi, definizione della strategia antincendio, gestione del rischio nel tempo, casi studio ed esempi applicativi, EPC,2011

L'obiettivo della modellazione del fireball è quello di stimare l'irraggiamento termico che ha prodotto e per fare questo è necessario valutare:

- Regime
- Massa di combustibile coinvolta
- Diametro e durata
- Potenza irradiata
- Fattori di vista

2.5 Scenari incidentali

I modelli che permettono di calcolare la potenza emessa per unità di superficie del fireball e da questa stimare l'irraggiamento complessivo sull'ambiente circostante sono essenzialmente tre, a seguito descritti brevemente, si rimanda a “Loss Prevention in the Process Industry” Lee's, 2005.

1. *Point source model*, che considera tutta l'energia sviluppata come prodotta in un punto, che coincide con il centro del fireball. Modello più preciso per grandi distanze (rispetto al diametro del fireball) che per piccole.
2. *Solid flame model*, stima la potenza radiante emessa dalla superficie di fiamma, per unità di superficie, assumendo che la fiamma si comporti come un corpo grigio che emette calore sotto forma di radiazione elettromagnetica. Per superficie di emissione si considera quella che delimita la fiamma visivamente. Solitamente risulta essere più preciso del point source model sulle brevi distanze.
3. *Emissività di fiamma*, ha un approccio simile al solid flame model, però stima la potenza emessa per unità di superficie a partire dai parametri propri della fiamma , cioè temperatura, dimensione, composizione della fase gassosa.

Per le esplosioni:

- Vapour cloud explosion (VCE)

E' un'esplosione non confinata di vapori in atmosfera, che in realtà però risulta facilmente soggetta a parziali confinamenti, causati da ostacoli naturali, presenza di edifici ma anche una semplice porta aperta, che ne influenzano alquanto la dinamica. Considerata tra le più pericolose dell'industria chimica, quest'esplosione viene generata da una sequenza incidentale che prevede un rilascio di una grande quantità di vapori in atmosfera, che si disperdono miscelandosi con l'aria. L'innesco e la successiva combustione di questa nube premiscelata genera un fronte di fiamma e una conseguente espansione dei prodotti di combustione che provoca un'onda d'urto. Un esempio tristemente noto di incidente provocato da VCE non confinata è Flixborough nel 1974, dove 40 tonnellate di cicloesano rilasciate da un reattore, hanno generato una nube di circa mezzo milione di m³ il cui innesco ha provocato 28 morti, la totale distruzione dell'impianto e circa 150 miliardi di danni.

- Esplosione confinata o parzialmente confinata

E' un'esplosione nella quale l'energia viene rilasciata all'interno di una struttura di contenimento, che può essere un serbatoio, un reattore, ma anche una stanza chiusa o un edificio. Nel caso di esplosione di miscela gassosa infiammabile in una tubazione o in un recipiente, si può avere sia deflagrazione, per la quale la presenza di valvole di sicurezza può risultare una protezione efficace, oppure detonazione, per cui sono invece inefficaci. Per quanto riguarda le polveri, non è stato ancora bene accertato se dalla loro esplosione può derivare una detonazione all'interno di un impianto industriale. Le esplosioni confinate producono generalmente onde di pressione, che nel caso di sistemi interconnessi possono dare origine al fenomeno

denominato “pressure piling” per il quale l'aumento di temperatura e pressione in un contenitore, provoca un conseguente aumento di temperatura e pressione nel sistema a lui connesso, che a sua volta può innescare ulteriori aumenti. Per ovviare a tutto ciò è utile inserire valvole ad azione rapida, per isolare i vari sistemi. L'andamento dell'onda di pressione varia a seconda che il recipiente fosse inizialmente aperto o chiuso, differenza che determina il fatto che i combustibili presentino tendenza ad occupare tutto il volume del recipiente.

- Boiling Liquid expanding vapour explosion (BLEVE)

È un'esplosione che avviene quando un recipiente contenente un liquido in pressione collassa, provocando la rapida depressurizzazione e conseguente evaporazione del liquido stesso cagionando una seconda onda di pressione fortemente distruttiva.

La causa più frequente è data da una fiamma che colpisce la parte di serbatoio al di sopra del livello del liquido, che surriscalda il metallo diminuendone la resistenza meccanica, che provoca una rottura improvvisa. Un esempio di disastro provocato da questa tipologia di esplosione è l'incidente di Città del Messico del 19/11/1984 che ha provocato 500 morti e più di 7000 feriti. La rottura, per cause imprecisate, di una piccola tubazione contenente GPL, ha cagionato la fuoriuscita di una nube che ha trovato innesco nella torcia dell'impianto, dando origine ad una VCE di grandi dimensioni e ad un jet fire in corrispondenza della rottura del tubo. Dopo circa cinque minuti si è sviluppata una BLEVE di una prima sfera di GPL, seguita da altre 15 che sommate ad un conseguente incendio, hanno provocato la totale distruzione dell'impianto.

Capitolo 3

L'indagine tecnica

3.1 Introduzione

Nonostante sia possibile catalogare gli scenari incidentali ed individuarne le conseguenze “caratteristiche”, ogni incidente è un caso a sé e come tale va studiato. L'unicità va ricercata nella svolgimento dei fatti, che dipende fortemente dal contesto e dalle condizioni proprie del luogo. L'obiettivo dell'indagine tecnica in ambito industriale, è quello di ricostruire la dinamica di un evento incidentale, individuando tutte le cause e le loro interconnessioni, oltre ad evidenziare le non conformità sia tecniche che alla regola d'arte di impianti, procedure, apparecchi ecc.

Esistono diverse linee guida [3] , [4] che identificano gli aspetti significativi di cui si deve tener conto durante l'investigazione, senza però riuscire ad individuare una metodica vera e propria, restando quindi informazioni di carattere generale. Questo è giustificato dal fatto che un'indagine tecnica non può essere affrontata come la

3.1 Introduzione

risoluzione di un problema di tipo matematico o scientifico in generale. Dal dizionario Il Sabatini Coletti, si definisce infatti “problema” una domanda cui si chiede di trovare, sulla base di dati noti ed enunciati, dati non noti, logicamente deducibili dai primi. In quest’ottica quindi se il problema è ben posto, ha già nella sua formulazione la soluzione, che deve solo essere estratta da chi ha l’onere di risolverlo, attraverso l’individuazione di un metodo, quantificabile. La stesura di una relazione tecnica invece presenta un elevato grado di incertezza, dato da:

- unicità di ogni incidente;
- complessità del problema;
- mancanza in partenza di tutti i dati utili alla risoluzione;
- soggettività, data dal contributo personale del CT.

Il problema, nel suo complesso, viene quindi definito mano a mano che si procede con il processo di apprendimento, sviluppandosi contemporaneamente su differenti livelli. Un’ulteriore difficoltà sta nella necessità di trovare il giusto equilibrio tra elasticità e rigore, perché ci si deve rifare alla scienza, in particolare alla letteratura scientifica e alle normative, affinché il contenuto delle affermazioni fatte non sia controvertibile, ma non si può affrontare l’indagine con uno sguardo esclusivamente pragmatico.

“When you go looking for something specific, your chances of finding it are very bad. Because, of all the things in the world, you're only looking for one of them. When you go looking for anything at all, your chances of finding it are very good. Because, of all the things in the world, you're sure to find some of them.”

Daryl Zero in *Zero Effect*

3.2 Fasi dell'indagine

Le fasi principali caratterizzanti un'indagine tecnica sono tre:

1. Fase iniziale, di raccolta delle evidenze
2. Fase di analisi di tali evidenze
3. Fase di individuazione delle cause e della dinamica dell'evento incidentale.

Di seguito trattate disgiunte per chiarezza espositiva, verranno in un secondo momento inquadrare all'interno dell'intera investigazione mediante il Metodo individuato.

3.2.1 Raccolta delle evidenze

3.2 Fasi dell'indagine

Questa fase ha un ruolo fondamentale all'interno dell'indagine. Saranno qui effettuate solo alcune considerazioni generali visto che verrà illustrata in dettaglio successivamente.

Con il termine evidenze si vogliono intendere tutti quei dati, di diversa natura, che vengono raccolti sia sul luogo dell'incidente che relativi ad esso permettendo di ricostruire la dinamica dell'evento, alcuni in grado di fornire subito informazioni utili, altri invece che necessitano di analisi più approfondite. L'evidenza di per sé non costituisce un elemento probatorio, solo il successivo collocamento in un quadro generale di quanto indicato dalla collezione, supportato da eventuali dagli esiti di eventuali prove, dalla normativa specifica e dalla letteratura scientifica, può rappresentare la base di deduzioni. Non solo, perchè tali deduzioni possano avere valore a processo non serve siano sostenute necessariamente da tutti gli indizi raccolti, è indispensabile però che nessuno di questi porti nella direzione opposta.

Esistono cinque tipi di fonti di evidenze:

1. Persone, attraverso le testimonianze;
2. Evidenze fisiche, cioè il ritrovamento di oggetti, quali pezzi meccanici, di impianto, prodotti finiti e campioni chimici ma anche danni e dettagli relativi allo stato dei luoghi come deformazioni, bruciature, incisioni ecc;
3. Dati elettronici, tutto ciò che si presenta in formato elettronico, dalle email allo storico allarmi di un impianto, alle registrazioni video;
4. Dati di posizione, sia delle persone, che di cose, ottenuti principalmente

attraverso foto e video;

5. Dati cartacei, cioè planimetrie e documenti vari, registri di operazioni, procedure, allarmi, test.

Perché la raccolta sia il più completa e rigorosa possibile, si deve tener conto di alcuni aspetti, primo fra tutti, il tempo.

Il tempo visto come necessità di essere quanto prima presenti sul luogo dell'incidente, fermo restando che la priorità iniziale è sempre il soccorso di eventuali feriti e la messa in sicurezza del sito (tali operazioni modificano inevitabilmente la scena e di ciò si deve tener conto).

Tempo, cui le evidenze di ogni tipo son particolarmente sensibili, attraverso tre forme di fragilità che possono essere definite: la perdita, l'alterazione e la rottura.

Perdita, vedi per esempio un segno che viene cancellato, un testimone che si dimentica qualcosa oppure l'interruzione della corrente che provoca la perdita di dati memorizzati sulle memorie cosiddette "labili" (es. RAM).

Alterazione o distorsione, quando un oggetto viene spostato, un testimone ricorda non correttamente, oppure un dato digitale viene sovrascritto.

Rottura, un qualcosa che viene buttato, un testimone che è stato influenzato.

Maggiore è la fragilità quindi sensibilità al tempo che passa, superiore è la priorità che la raccolta di tale dato deve avere.

Non è possibile stilare una tabella precisa delle priorità, in quanto molto dipende

3.2 Fasi dell'indagine

dalle specifiche circostanze dell'incidente, però tra tutti i dati quelli caratterizzati da un'elevata sensibilità sono certamente i dati cartacei, quelli conservati in files elettronici, i materiali che si possono decomporre, cambiando rapidamente stato e proprietà fisiche e gli oggetti che presentano per esempio fratture, che si possono ossidare, quindi significativi da un punto di vista metallurgico.

In realtà però il dato in assoluto più fragile ma di enorme interesse è la posizione, di evidenze fisiche in particolare ma anche di dati relativi alle persone. Siccome entrambe queste evidenze sono strettamente connesse ad una localizzazione per poter essere significative, è bene considerare la posizione come un dato imprescindibile da esse.

E' necessario evidenziare che la cronologia di raccolta è ininfluenza alle conclusioni cui si giunge, come per l'addizione, per cui vale la proprietà commutativa, analogamente le evidenze, producono le medesime deduzioni a prescindere dall'ordine con il quale vengono collezionate (fermo restando l'importanza già sottolineata del tempo sulle caratteristiche chimico-fisiche di quelle considerate sensibili).

Un altro aspetto fondamentale è la necessità di realizzare una Security Chain of Custody, in particolare per le evidenze fisiche, ma anche per i documenti, a garanzia del fatto che siano state maneggiate con un'attenzione scrupolosa, per evitare alterazione o cattiva gestione e per garantire la tracciabilità certa del reperto.

La catena si riferisce a tutti gli aspetti collegati alla fase di raccolta:

- raccolta vera e propria o sequestro dell'evidenza;

- custodia;
- controllo;
- trasferimento;
- analisi;
- collocazione

Per ognuno di essi si deve essere in grado di fornire una documentazione che certifichi quindi sotto quali condizioni l'evidenza è stata raccolta, l'identità di tutti coloro che l'hanno maneggiata , le condizioni di sicurezza adottate nella fase di maneggiamento e custodia, le modalità di trasferimento. Va indicato sempre chi ha in custodia cosa, cercando di ridurre al minimo il numero di trasferimenti e di persone che entrano in contatto con l'evidenza. Se si individuano discrepanze, la catena di custodia si rompe, con il rischio di dover considerare inammissibile l'evidenza.

3.2.2 Analisi delle evidenze

3.2 Fasi dell'indagine

Quello che rimane dopo un incendio, un'esplosione, parla dell'incidente stesso, attraverso la morfologia di una frattura, il colore di una particolare macchia, la distribuzione di fuliggine.

L'analisi delle evidenze fisiche intende dar voce a questa testimonianza diretta, con l'ausilio della normativa, che traccia le linee guida da seguire per ottenere risultati certificati, utilizzabili a processo.

Questo passaggio è determinante per il valore di un'indagine tecnica, ma in realtà proprio nei metodi di prova emergono le grandi lacune dell'Ingegneria Forense in Italia, che non sempre dispone di regolamentazioni chiare e univoche in merito alle metodologie da utilizzare, a differenza di quanto avviene negli Stati Uniti. Se si considera la situazione dei rifiuti, a titolo di esempio, la Regolamentazione Europea con la direttiva 2008/98/CE "*Relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive*" e attraverso l'Allegato I, alla parte IV, identifica le caratteristiche di pericolosità e ne indica le modalità sperimentali di determinazione. In tale direttiva si impone di fare riferimento in particolare all'Allegato V della direttiva 67/548/CEE per la scelta dei metodi di prova, lasciando comunque la possibilità di utilizzare metodi di prova più aggiornati emessi dal CEN (Comitato Europeo di Normalizzazione). Tale direttiva è stata soppiantata dal Regolamento REACH (CE) n. 440/2008 e i metodi di prova aggiornati dal Regolamento(CE) n. 1907/2006. Tutto questo è molto chiaro da un punto di vista del legislatore europeo, non è così per la regolamentazione italiana, che rimanda ai metodi di prova indicati

dall'Allegato V del Regolamento del 1967 e non a quelli dell'attuale Regolamento REACH, in vigore, lasciando non pochi dubbi in chi si appresta ad effettuare analisi.[5]

Il riferimento alla normativa è indispensabile in quanto definisce la terminologia, i metodi operativi, le apparecchiature, le procedure anche relativi ai laboratori di prova. L'Accredia (Ente italiano di accreditamento- www.accredia.it) mette a disposizione un elenco di quelli che rispettano la UNI CEI EN ISO/IEC 17025:2005, che definisce i requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura a garanzia dell'elevato grado di competenza. Sempre relativo al caso di esempio, in tutta Italia solo cinque laboratori sono accreditati per la determinazione del punto di infiammabilità sui rifiuti, tutti gli altri effettuano comunque questa misurazione, senza però avere certificazione, dando quindi risultati contestabili a processo. La normativa definisce anche le caratteristiche dei laboratori, dall'arredamento, con la UNI EN 14056:2004 (Arredamento da laboratorio-Raccomandazioni per la progettazione e l'installazione), con la UNI EN 14727:2006 (Mobili da laboratorio-Mobili contenitori per laboratorio-Requisiti e metodi di prova), al tipo di strumentazione e al personale che può effettuare le analisi.

Queste considerazioni, relative al laboratorio, sono vincolate alla rappresentatività del campione, concetto che verrà espresso più avanti.

Si elencano le principali tecniche analitiche per valutare materiali e componenti coinvolti in un incidente, associando esempi di norme di riferimento e rimandando alla letteratura per gli approfondimenti.

3.2 Fasi dell'indagine

3.2.2.1 Analisi dimensionali

Sono misurazioni effettuate per determinare la lunghezza di una frattura, l'estensione di una parte corrosa o usurata, la dimensione di una macchia termica.

Da tener presente un possibile effetto distorsione dovuto al fatto che il componente possa aver subito, durante l'incidente, una deformazione.

Le norme UNI 10699: 1998 (dalla 1 alla 28) definiscono le "Istruzioni per il controllo delle apparecchiature per le misurazioni dimensionali", a seconda dello strumento utilizzato. Tali analisi vengono effettuate principalmente con:

- Calibro

E' uno strumento di facile utilizzo, che permette di misurare lunghezza, larghezza e profondità, può essere digitale oppure dotato di una scala millimetrata sul corpo principale per la lettura della misurazione.



Figura 3.1. Calibro a corsoio



Figura 3.2. Calibro a compasso



Figura 3.3. Calibro a tampone

Figura 3.4. Calibro digitale

A seconda del tipo di rilievo che effettua, viene classificato in:

- calibro *per esterni*, la cui misurazione avviene rispetto alle pareti esterne dell'oggetto, del pezzo;
- calibro *per interni*, la misura viene effettuata rispetto alle pareti interne;
- calibro *di profondità*;
- calibro *universale*, permette di effettuare differenti misurazioni.

3.2 Fasi dell'indagine

- Micrometro

E' un tipo di calibro per esterno che ha un'accuratezza di misurazione che raggiunge il milionesimo di metro. Di grande utilizzo è in particolare il micrometro di profondità, per la misurazione all'interno di cave, crepe.



Figura 3.5 Micrometro di profondità con prolunga

- Comparatore

E' uno strumento che misura in generale lo spostamento lineare e può essere utilizzato con molteplici finalità:

- rilevare errori di parallelismo;
- verificare la planarità o perpendicolarità di una superficie rispetto ad un piano di riferimento;
- verificare la differenza di quota tra un pezzo in esame ed un campione;
- controllare le deformazioni di un pezzo.

Il funzionamento di tale strumento è indicato con chiarezza nella Figura 3.6.

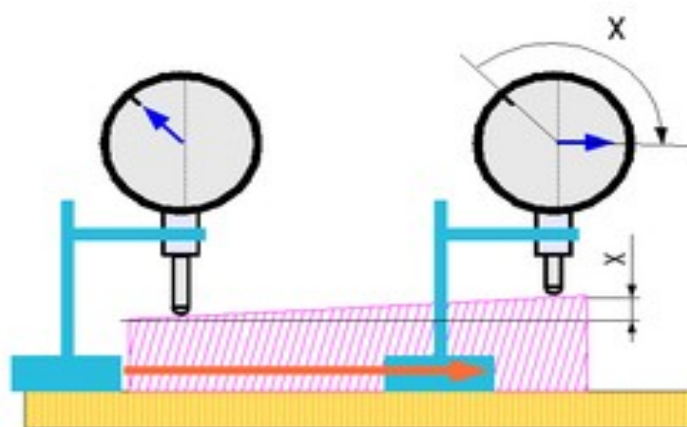


Figura 3.6 Funzionamento comparatore

3.2 Fasi dell'indagine

Come si evince dalla figura, il funzionamento di tale strumento è basato sullo spostamento di un'asta, chiamata “tastatore”, che scorre lungo una guida tubolare, è che è perennemente a contatto con la superficie dell'oggetto da misurare. Anche la più piccola variazione superficiale, si traduce in uno spostamento dell'asta lungo la direzione del proprio asse, spostamento che viene registrato e visualizzato sul quadrante attraverso il movimento di una lancetta.



Figura 3.7 Comparatore a quadrante

3.2.2.2 Analisi chimiche

Sono analisi che vengono effettuate principalmente per identificare e quantificare elementi, ioni, gruppi funzionali, composti. Si elencano alcuni esempi di tecniche di analisi attraverso una tabella che cita, quando possibile, una o più norme tecniche di riferimento.

Tabella 3.1 Tecniche di analisi chimiche e norme di riferimento

Tipo di tecnica di analisi	Obiettivo analisi	Esempio di Normativa di riferimento
Spettrometria ad assorbimento atomico	Analisi quantitativa degli elementi in tracce, in particolare metalli, in matrici di ogni genere	<ul style="list-style-type: none"> • UNI EN 27627-5:1993 • UNI EN 12441-3:2002 • UNI 10293:1994 • UNI EN ISO 5961:1997
Combustione ad alta temperatura	Analisi quantitativa di zolfo e carbonio	UNI 7771:1977
Cromatografia ionica	Determinazione di anioni e qualche catione in soluzione acquosa	UNI EN ISO 10304-4:2001
Spettroscopia all'infrarosso	Determinazione di sostanze organiche	UNI EN 14626:2005
Spettroscopia ottica	Analisi di elementi metallici anche in tracce	UNI EN 15991:2011
Analisi chimica per via umida	Sono tra le tecniche di analisi più tradizionali, che raccolgono numerose tecniche utilizzabile per la maggior parte degli elementi	<ul style="list-style-type: none"> • UNI EN 1122:2002 • UNI EN ISO 20565-2:2009

3.2 Fasi dell'indagine

Spettroscopia ad assorbimento visibile	Analisi di composti sia aorganici che inorganici	
Spettroscopia emissiva al plasma	Rilevamento e analisi quantitativa simultanea di circa 70 elementi	
Cromatografia in fase liquida	Separazione e analisi quantitativa di composti solubili	
Analisi di attivazione neutronica	Rilevamento di tracce di elementi	
Spettroscopia di Raman	Analisi molecolare di composti organici	

3.2.2.2 Analisi dati digitali

UNI 11386:2010 Supporto all'Interoperabilità nella Conservazione e nel Recupero degli Oggetti digitali (SinCRO)

UNI EN 14116:2011 Cisterne per il trasporto di merci pericolose- Interfaccia digitale dei dispositivi di riconoscimento dei prodotti

3.2.2.4 Prove non distruttive

Le Prove non Distruttive sono definite dall'AIPnD -Associazione italiana prove non distruttive- come quel complesso di esami, prove e rilievi condotti impiegando metodi che non alterino il materiale e non richiedano la distruzione o l'asportazione di campioni dalla struttura in esame.

Tra le norme generali che caratterizzano questa tipologia di prove si citano:

UNI EN 1330-1:2000 Terminologia- Lista dei termini generali

UNI EN 1330-2:2000 Termini comuni ai metodi di prove non distruttive

UNI 11373:2010 Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive-Applicazione della UNI EN 473 al personale addetto alle repliche metallografiche su attrezzature a pressione soggette a scorrimento viscoso.

A seguito verranno elencate le prove non distruttive più significative, riportando, quando possibile, le norme tecniche di riferimento.

Esame visivo

L'esame visivo viene eseguito sempre, a differenza di altre prove, e può essere di tipo *macro*, se effettuato ad occhio nudo o con l'ausilio di una semplice lente di ingrandimento, oppure *micro* se prevede l'utilizzo di microscopio, a luce riflessa o elettrico a seconda del grado di ingrandimento che si vuole ottenere.

Si riescono ad individuare svariate caratteristiche superficiali del materiale in questione, tra cui i punti di inizio cricca, difetti e fratture.

- UNI EN 13018:2004- Esame visivo - Principi generali
- UNI EN 13927:2006- Esame visivo - Apparecchiatura

3.2 Fasi dell'indagine

Prove di perdita

Sono prove atte all'individuazione di cricche o difetti passanti che, in pressione o sotto-vuoto, vengono rilevate analiticamente o attraverso fluidi schiumogeni o simili.

- UNI EN 1779:2004 - Ricerca delle perdite - Criterio per la selezione del metodo e della tecnica
- UNI EN 1593:2004 - Ricerca delle perdite – Tecnica della emissione di bolle
- UNI EN 13184:2004 - Ricerca delle perdite – Metodo a variazione di pressione
- UNI EN 13185:2004 - Ricerca delle perdite – Metodo del gas tracciante

Prove con liquidi penetranti

Sono prove indicate per il rilevamento di difetti superficiali, solo su superfici lisce sufficientemente e non porose.

- UNI EN 571-1:1998 – Esame con liquidi penetranti- Principi generali
- UNI EN ISO 3452 (2-6) , che definiscono le attrezzature, le prove a temperature superiori ai 50°C e inferiori ai 10°C

Prove con particelle magnetiche

Chiamata magnetoscopia, è una tecnica che permette il rilevamento, solo su materiali ferromagnetici, di difetti superficiali o appena sotto la superficie, con una sensibilità che arriva ad una profondità di 4-5 mm.

- UNI 11250 (1-2-3):2007- Metodo magneto-induttivo, tre parti che definiscono principi generali, apparecchiature e terminologia per questo metodo

Prove con corrente ad induzione o di Eddy

Sono prove utili in grado di rilevare, in materiali conduttori ferromagnetici e non-ferromagnetici, discontinuità superficiali e sub-superficiali.

- UNI EN ISO 15549:2011- Controllo mediante correnti indotte- Principi generali
- UNI EN ISO 15548 (1-3):2009- Apparecchiature per il controllo mediante correnti indotte

Prove con ultrasuoni

Permettono il rilevamento, in materiali metallici ma non solo, di difetti superficiali e sub-superficiali.

3.2 Fasi dell'indagine

- UNI EN 583 (1-6)-Esame ad ultrasuoni, che viene definito nei principi generali e nelle tecniche

Prove ad emissione acustica

Sono prove indicate per il individuare difetti su vetroresina e altri materiali compositi.

- UNI EN 13554:2011- Prova di emissione acustica-Principi generali
- UNI EN 13477 (1-2)- Prova di emissione acustica- Caratterizzazione dell'apparecchiatura, sia mediante descrizione che verifica delle caratteristiche funzionali.

3.2.2.5 Prove meccaniche distruttive

Queste prove, al contrario di quelle non distruttive, modificano profondamente le caratteristiche dell'elemento analizzato, rendendolo inutilizzabile per ulteriori esami. Sono prove effettuate a supporto dell'analisi delle rotture, per determinare in primis se il componente che ha ceduto rispettasse le specifiche originarie del prodotto, per verificare se nel tempo siano intervenuti dei cambiamenti delle caratteristiche del componente e per le simulazioni. Attraverso prove simulate infatti, su campione dello stesso materiale del componente, si ottengono informazioni molto utili e

confrontabili con quelle rilevate sull'evidenza in questione.

Non è possibile indicare un protocollo per questo tipo di prove, in quanto ci si deve attenere strettamente al caso specifico perché i risultati siano confrontabili, attendibili e non contestabili. A seguito se ne citano alcune tra le più utilizzate.

Prova di trazione

Viene eseguita a temperatura ambiente (raramente a temperature superiori o inferiori) e consiste nel sottoporre un provino a rottura mediante trazione generata da una macchina di prova che può essere di tipo meccanico o idraulico. Tramite questa prova si determinano le seguenti caratteristiche: resistenza a trazione, carico unitario di snervamento, allungamento percentuale dopo la rottura, coefficiente percentuale di strizione.

- UNI 7957:1979- Controllo della duttilità in materiali ferrosi mediante prova di trazione nella direzione dello spessore
- UNI 6065:2001-Elastomeri-Prove su gomma vulcanizzata e termoplastiva-Prove di trazione

Prova di durezza

La durezza è definita come la resistenza che un materiale oppone alla penetrazione di un corpo. La prova di durezza viene eseguita su una superficie piana della provetta

3.2 Fasi dell'indagine

e la forma del penetratore, i carichi applicati e la modalità di misurazione possono essere differenti. I diversi metodi utilizzabili, sono definiti dalla normativa tecnica.

- UNI EN ISO 6506 (1-4):2006 -Prova di durezza Brinel
- UNI EN ISO 6507 (1-4):2006- Prova di durezza Vickers
- UNI EN ISO 6508 (1-3):2006- Prova di durezza Rockwell

Prova di compressione

La prova di compressione non è altro che una prova di durezza il cui carico però non è concentrato e la provetta utilizzata è di forma cilindrica.

- UNI 558:1985- Prova di compressione, su materiali metallici, a temperatura ambiente

Prova di resilienza

La resilienza è la capacità di un materiale di resistere agli urti. La prova di resilienza, consiste dunque nel rompere con un unico colpo, tramite una mazza a caduta perpendicolare, una provetta intagliata, che poggia su due sostegni. Viene effettuata sia a temperatura ambiente che a temperatura inferiore e il risultato di questa prova è espresso in energia assorbita (in Joule) nell'urto, per fratturare il provino.

- UNI EN ISO 14556:2010- Acciaio- Prova di resilienza su provetta Charpy con intaglio a V- Metodo di prova strumentato
- UNI EN ISO 148 (2-3):2009-Materiali metallici-Prova di resilienza su provetta Charpy mediante pendolo

Prova di flessione

E' una prova che consiste nel porre una provetta (che può avere sezione quadrata, rettangolare, circolare) di dimensioni trasversali costanti su tutta la lunghezza, su due rulli liberi e sottoporla ad un carico a metà della distanza tra i due appoggi. Tramite questa prova si determinano le caratteristiche del materiale limitatamente alle deformazioni elastiche.

- UNI ISO 3133:1985- Legno- Determinazione della resistenza a flessione statica
- UNI EN 843-1:2007- Determinazione della resistenza a flessione di ceramiche monolitiche a temperatura ambiente

3.3 Individuazione delle cause e della dinamica incidentale

Gli incidenti industriali, in particolar modo quelli di grande magnitudo, non sono quasi mai riconducibili ad una singola causa, sono solitamente il risultato di molteplici cause che hanno contribuito, a vario titolo, all'accadimento e allo sviluppo di un determinato evento.

Nell'indagine tecnica ci si propone di individuare tutte le cause, sia quelle iniziatrici o radice, che danno il via alla sequenza di eventi che quelle intermedie, oltre alla modalità di evoluzione del fenomeno. Solo riconoscendo ed evidenziando le cause radice si può ridurre il rischio che tale incidente si ripeta, non solo, è grazie a queste che si identificano eventuali fallimenti del sistema di gestione.

Le tecniche di individuazione delle cause scatenanti sono davvero molte e sono praticamente le stesse utilizzate per l'analisi del rischio, con la differenza che in quest'ultima viene dedicata particolare attenzione al calcolo della frequenza e della probabilità di accadimento dell'evento.

Indipendentemente dalla tecnica utilizzata, la ricerca delle cause prevede prima una fase nella quale si cerca di ricostruire la cronologia degli eventi, cercando di ricostruire dalle evidenze raccolte una sequenza temporale di fatti. Così facendo si riesce sia a semplificare la comprensione della dinamica dell'incidente che ad effettuare una verifica incrociata tra le varie informazioni raccolte, che non dovranno presentare né incompatibilità né incongruenze temporali.

Una volta che si è identificato un ipotetico scenario di evoluzione incidentale si specificano le evidenze che dovrebbero essere riscontrabili nel caso di effettivo accadimento di quel particolare scenario e si confrontano con quelle effettivamente riscontrate. Le evidenze quindi non sono solo il punto di partenza dello studio, ma rappresentano un continuo riferimento cui ci si rivolge durante tutta l'indagine, in cerca di conferme e sostegno alle ipotesi che si stanno formulando o di indicazioni alternative.

In generale comunque, le tecniche di individuazione delle cause possono essere ricondotte a tre approcci principali, sulla base della logica che seguono: approccio deduttivo, induttivo e morfologico.

L'approccio deduttivo è strettamente logico-sequenziale e parte da un evento finale per ripercorrere in senso inverso la sequenza temporale e causale che ha portato agli eventi iniziatori. Un esempio di applicazione di questa logica è sicuramente la tecnica di Fault Tree Analysis (FTA).

L'approccio induttivo invece ripercorre la sequenza temporale e causale nello stesso senso, partendo quindi da un evento iniziatore per arrivare agli eventi finali. Basate su questo approccio svariate tecniche, la Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), l'Hazard and Operability Analysis (HAZOP), e l'Event Tree Analysis (ETA).

3.3 Individuazione delle cause e della dinamica incidentale

Nei casi complessi spesso vengono utilizzate tecniche appartenenti ad entrambe le classi, dove in generale quelle deduttive sono più adatte per comprendere ed identificare le cause origine, mentre quelle induttive indirizzano l'applicazione delle prime.

L'approccio morfologico a differenza degli altri due, non ripercorre gli eventi attraverso una sequenza temporale, è un processo logico che si concentra principalmente sul sistema oggetto dello studio, cercando di individuarne gli elementi di pericolo, tipici per natura e conformazione del sistema stesso.

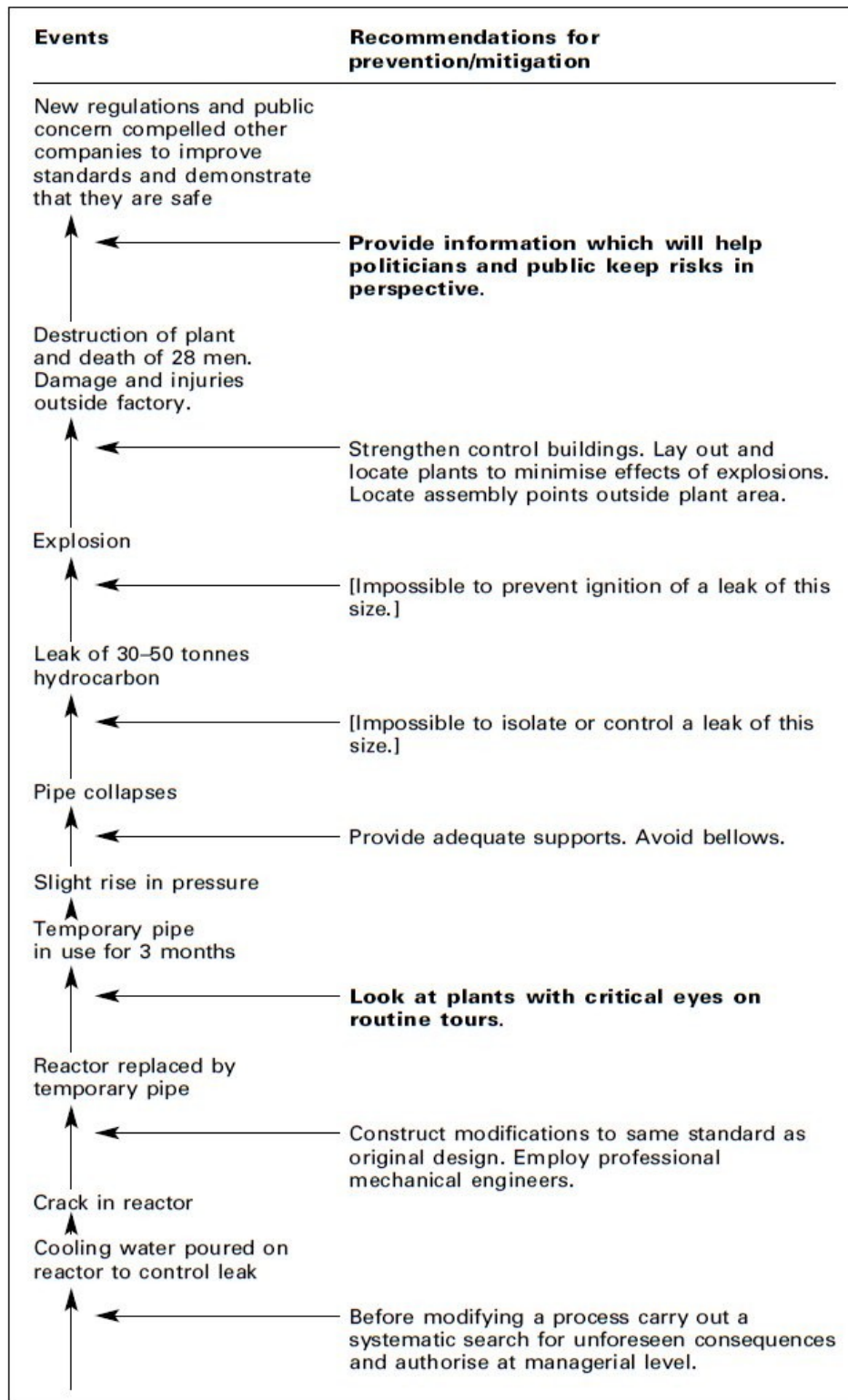
Un esempio che ha fatto storia nell'evidenziare l'importanza di un'indagine post incidente quanto più approfondita possibile e che spesso tra le cause vi siano errori nel sistema di gestione è l'incidente di Flixborough, nel 1974: un'esplosione, dovuta al rilascio di cicloesano, ha provocato la morte di 28 persone.

Dall'indagine è emerso che tale rilascio è seguito alla rottura di un giunto di espansione, di diametro pari a 25 pollici, che collegava due reattori. A questo punto pare si sia individuata la causa che ha provocato l'esplosione, senza troppa difficoltà. In realtà, considerare questa come causa radice dell'incidente sarebbe limitante, il giunto è emerso essere un bypass temporaneo in sostituzione di un reattore intermedio che era stato rimosso in quanto corrosivo. Si è scoperto, nel proseguo dell'indagine, che la corrosione era riconducibile ai nitrati provenienti dall'acqua di raffreddamento supplementare, spruzzata attraverso un sistema di ugelli esterno, sul reattore stesso. Vedi come un problema tecnico e cioè l'insufficiente capacità di

3.3 Individuazione delle cause e della dinamica incidentale

raffreddamento del reattore, era stato risolto con un mezzo totalmente inadeguato da un punto di vista tecnico. Quindi, in realtà, la rottura del giunto rappresenta la causa materiale dell'incidente, tra le cause radice va individuata anche l'inadeguatezza del sistema decisionale dell'azienda, responsabile di quanto accaduto.

3.3 Individuazione delle cause e della dinamica incidentale



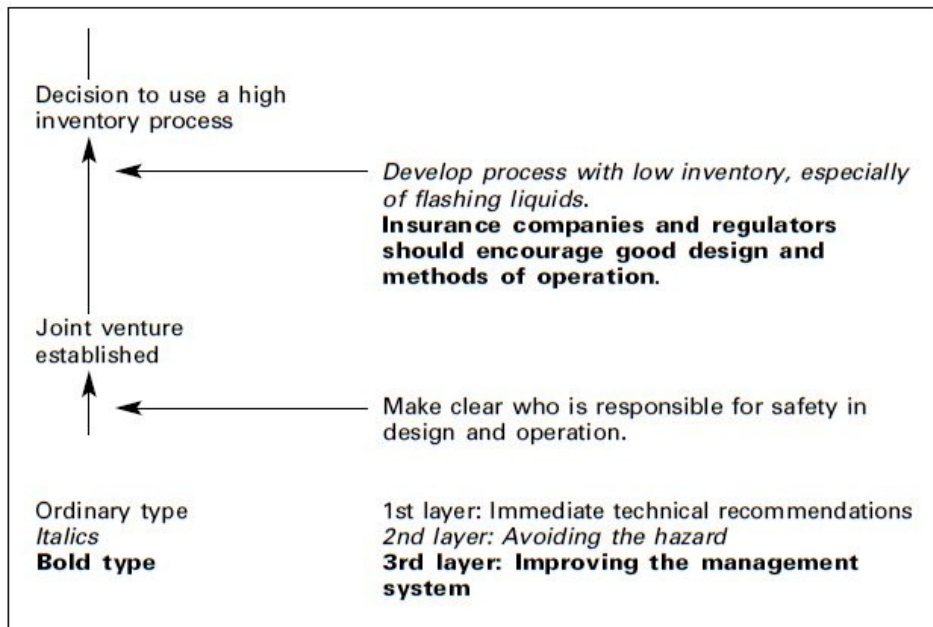


Figura 3.8. Albero degli eventi incidente Flixborough, tratto da Klentz learnrig for Accident

3.5 Metodo della spirale conica

Come già evidenziato in precedenza, quando si ha a che fare con un'indagine tecnica, si deve tenere ben presente che non si ha a che fare con la semplice risoluzione di un problema di tipo scientifico-matematico, che prevede la disponibilità in partenza sia di tutti i dati utili alla soluzione che di formule. In quest'ottica va visto pure il Metodo della Spirale Conica, con il quale non si intende quantificare una procedura standard volta alla stesura della relazione tecnica, ma

3.5 Metodo della spirale conica

bensi descrivere l'evoluzione dell'indagine nel tempo. Ecco quindi che nella Spirale Conica si ritrovano le fasi principali dell'investigazione, le sue caratteristiche significative, la si riesce a vedere e comprendere nella sua totalità. Una forma che ha intrinsecamente in sé l'idea di un'evoluzione, dal generale al particolare, sviluppato su differenti livelli e convergente in un punto, proprio come avviene per un'indagine tecnica.

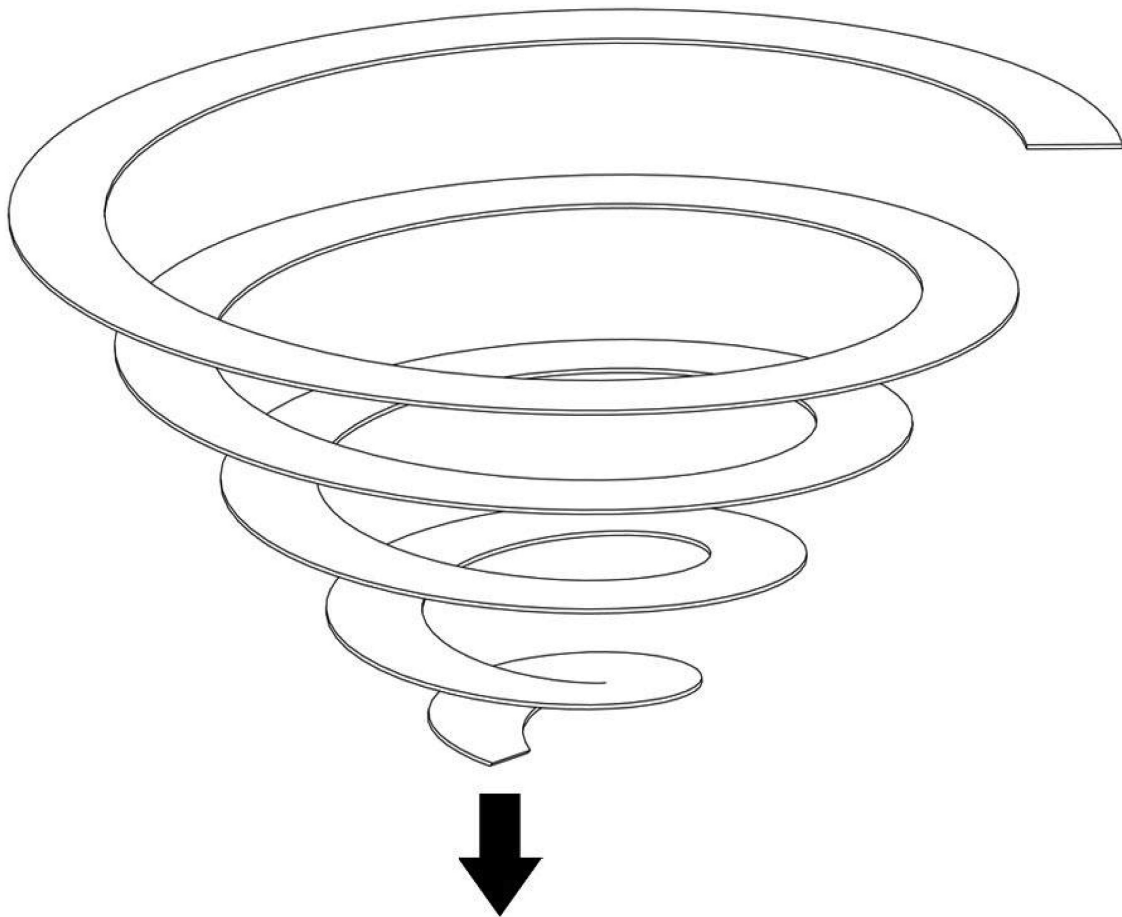


Figura 3.9. Vista frontale della spirale conica

Nella vista frontale, si segue il progresso dell'indagine secondo un verso di riferimento che è quello della spirale stessa, che si sviluppa lungo la coordinata tempo, dove è possibile individuare le tre fasi principali:

- la fase iniziale, la raccolta delle evidenze, occupa gran parte dell'investigazione;
- l'analisi di tali evidenze;
- l'individuazione delle cause e della dinamica dell'evento incidentale

Il fatto che l'analisi sia logicamente successiva alla raccolta non significa che queste due fasi siano distinte: non si può pensare di sottoporre le evidenze significative ad esami solo al termine dell'intera collezione, per questo motivo questi due step vanno considerati unitamente. L'importanza dello sganciarsi da un'idea di sequenza puramente cronologica è un concetto alla base dell'intera indagine, come risulterà più chiaro nel seguito della trattazione.

Con il procedere dell'investigazione la spirale quindi prende forma, assumendo dimensioni e caratteristiche legate al caso specifico, il numero delle spire, per esempio, può aumentare o diminuire in relazione al tempo che le singole fasi richiedono e questo è legato sia alla complessità dell'incidente che alle richieste del PM o delle parti. Non esiste inoltre un confine netto tra una fase e l'altra ed è possibile la presenza di collegamenti a ritroso tra le varie spire, questi possono rivelarsi necessari per svariati motivi, solitamente sono i risultati delle analisi che indirizzano l'attenzione verso particolari aspetti, non identificabili dall'inizio.

3.5 Metodo della spirale conica

In pianta le diverse fasi sono individuate seguendo il percorso logico cognitivo che prevede, mano a mano che l'indagine avanza, l'avvicinarsi sempre più alla comprensione della dinamica dell'incidente, cioè al centro della spirale.

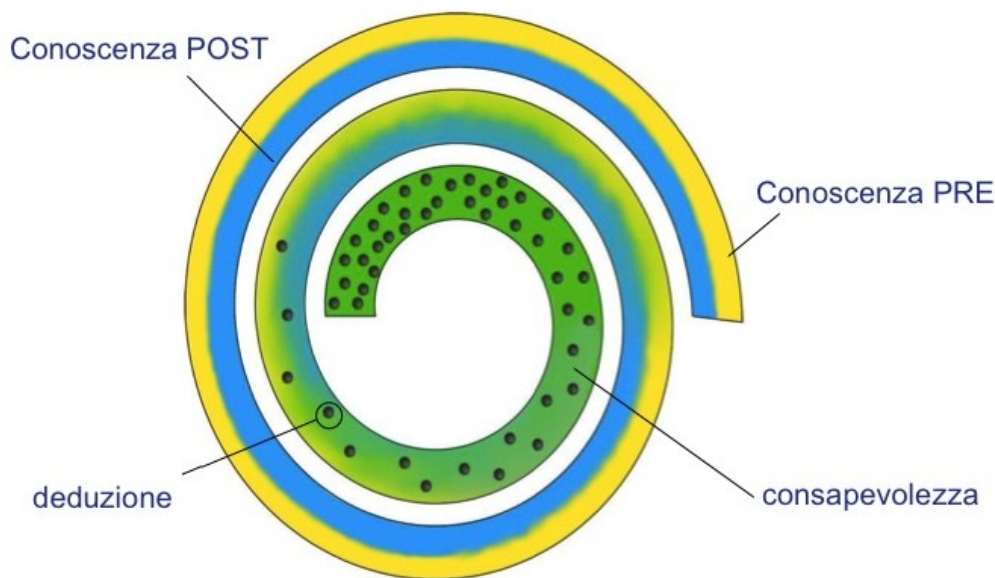


Figura 3.10. Vista in pianta spirale conica

Per capire cos'è successo si procede cercando di individuare sia quegli elementi in grado di sviluppare quella che si può definire Conoscenza PRE incidente, del luogo, del processo produttivo che quelli propri della Conoscenza POST incidente, cioè dello stato dei luoghi, dei danni. La difficoltà dell'indagine e di conseguenza la bravura di un consulente tecnico sta proprio nell'accrescere simultaneamente questi due aspetti della comprensione, cercando di individuare tutte le ipotesi plausibili.

Attraverso, per esempio, la consultazione di documenti cartacei quali planimetrie, diagrammi di flusso, piani di emergenza e valutazioni del rischio, ma non solo, grazie a foto d'archivio, testimonianze di persone che continuano a frequentare il luogo dell'incidente, a vario titolo, o che l'hanno frequentato in passato, si ricostruisce un quadro delle condizioni nelle quali, con molta probabilità, l'evento incidentale ha avuto origine.

Interessante può essere cercare risposte non solo nella sede oggetto dell'indagine, ma anche in altri stabilimenti dell'azienda, se esistono, per conoscere la politica interna, individuare i ruoli. Utile in tal senso il sequestro dei pc e l'analisi delle mail, oggi più che mai strumento di comunicazione sia interna, vedi segnalazione di lamentele, di decisioni prese, ordini del giorno di riunioni, che esterna, utilizzata per richiedere preventivi, per comunicare con gli enti.

Grazie invece ai sopralluoghi e attraverso rilievi fotografici, campionamenti, raccolta di oggetti, individuazione di danni, si identifica lo scenario, risultato dell'evento incidentale. Successivamente si selezionano quelle evidenze considerate significative, che verranno analizzate in quanto in grado di fornire risultati utili alla ricostruzione di quanto è accaduto, diventando elementi probatori e base per deduzioni.

L'obiettivo è riuscire a collezionare il maggior numero di informazioni, per congelare la scena in un "fermo immagine", il più nitido possibile. Così facendo, anche a distanza di anni, ci si potrà rivolgere a tale collezione, cercando risposte. Si dice che il tempo sia un gentiluomo, non per l'indagine tecnica.

La consapevolezza dell'effettiva dinamica dell'incidente aumenta muovendosi verso

3.5 Metodo della spirale conica

il centro della spirale, con il procedere quindi dell'indagine, ma non in modo netto e continuo in quanto legata alle interazioni con le parti: il CTU non può non tener conto di osservazioni, contestazioni fatte dai CT della difesa, delle parti, che talvolta possono essere, volutamente o no, fuorvianti. Non solo, la consapevolezza acquisita necessita di riscontri oggettivi per non essere confutabile, gli esiti dei test servono per confermare o al contrario mettere in discussione la direzione che si è imboccata.

In caso non si trovasse concordanza, ci si muove a ritroso tra le spire, per riprendere l'investigazione dal punto in cui erano state individuate ipotesi alternative, inizialmente considerate più improbabili. Così facendo si modifica la traiettoria del percorso d'indagine, quindi la forma delle spire, alla ricerca di altri possibili elementi a sostegno di queste ultime ipotesi individuate. Capita spesso che i collegamenti a ritroso servano principalmente per individuare dettagli aggiuntivi agli elementi già selezionati.

Nelle ultime spire si cerca di dare un senso a quanto raccolto e cioè si cerca quell'ipotesi di scenario alla quale rimandano tutti gli elementi probatori individuati, tutti, nessuno escluso. Con l'utilizzo di tecniche specifiche si individuano le cause all'origine dell'incidente, le condizioni che hanno favorito la sua evoluzione, la modalità di accadimento e inevitabilmente si identificano le responsabilità. Quando si arriva a tale livello di consapevolezza, si è al centro della spirale.

Capitolo 4

La raccolta delle evidenze

4.1 Considerazioni generali

La raccolta delle evidenze non è altro che la ricerca di informazioni, delle più disparate, che permettano di conoscere, comprendendolo, il contesto nel quale è avvenuto l'incidente per poi riuscire a proporre tesi relative alla dinamica di evoluzione del fenomeno e alle cause che l'hanno generato.

Le evidenze rappresentano il fulcro attorno a cui ruota l'intera indagine, in quanto testimoni dell'evento, oggetto di analisi, sostegno di teorie, elementi probatori.

E' una fase particolarmente impegnativa perché necessita di un approccio che mantenga una prospettiva la più ampia possibile, per non escludere niente a priori, rispettando però tempi e procedure, ben definite dal Codice di Procedura relativo e dal processo stesso.

Parole chiave di questo stadio, a prescindere dal tipo di evidenza sono:

- *tempestività*, visto che spesso i dati sono sensibili al tempo;
- *rigore*, nella realizzazione della raccolta, rispettando standard e norme a certificazione e garanzia dell'evidenze stesse;
- *rintracciabilità*, di qualsiasi cosa venga raccolta, attraverso una Security Chain of Custody.

In un incendio, per esempio, i danni sono riconducibili principalmente all'effetto del calore, mentre da un'esplosione derivano essenzialmente danni meccanici. Questo si traduce nel fatto che i differenti scenari incidentali presentano delle peculiarità tali per cui alcune categorie di evidenze risulteranno preponderanti rispetto ad altre, a seconda del caso.

Dalle considerazioni fatte in precedenza, si può pensare di suddividere le evidenze in quattro categorie principali:

1. Testimonianze
2. Documentazione, cartacea ed elettronica
3. Fotografie
4. Evidenze fisiche

4.2 Testimonianze

Nell'ottica di recuperare più informazioni possibili pre e post incidente, risulta efficace suddividere i testimoni in diretti e indiretti.

I testimoni diretti, sono coloro presenti all'evento che hanno visto, sentito qualcosa quindi utili per capire quello che è successo, mentre quelli indiretti, non presenti ma in grado comunque di fornire indicazioni per ricostruire le condizioni in cui verosimilmente ha avuto origine il tutto. Proprio questi testimoni indiretti, dipendenti non in turno, di ditte esterne quali pulizie, manutenzione, che conoscono bene la realtà e le dinamiche locali senza avere addosso il peso dell'aver vissuto l'incidente, possono fornire segnalazioni preziose. Analoga considerazione vale per i Vigili del fuoco, che oltre ad essere generalmente tra i primi ad intervenire, hanno competenze tali da permettere quasi una prima ricostruzione della dinamica dell'incidente, indicando le zone dove c'è stato maggiormente bisogno del loro intervento alle quali andrà prestata particolare attenzione. Interviste ai VV.F. sono fonti di informazione insostituibili in quanto fornite da persone che capiscono e conoscono i fenomeni fisici legati ad un incidente, l'evoluzione di un'indagine tecnica e quindi sono in grado autonomamente di individuare i punti critici della loro diretta esperienza e comunicarli. Inoltre il limitato coinvolgimento psicologico rende sicuramente più semplice il colloquio.

In qualsiasi caso, perché le testimonianze possano essere utilizzate in dibattimento, quindi considerate fonti di prova, è fondamentale che vengano ottenute secondo le procedure definite nel CPP, con l'ausilio di ufficiali della PG che provvederanno alla redazione dei verbali.

Il rispetto di specifiche procedure non deve però trasformare l'intervista in un interrogatorio, perché il consulente è alla ricerca delle cause e non di attribuire colpe, questo deve riuscire a trasmetterlo durante il colloquio, non solo, va poi tenuto presente che si ha spesso a che fare con persone emotivamente provate, vulnerabili, che hanno assistito magari al ferimento di qualche collega, temuto per la propria vita.

Dall'altra parte, diversi studi hanno dimostrato come in brevissimo tempo non si è più in grado di ricollegare tanti dettagli in modo lineare quindi si deve cercare di raccogliere quanto prima le testimonianze: la non immediatezza risulta essere un fattore critico per queste evidenze.

La difficoltà nel raccogliere queste evidenze non sta nell'individuare i testimoni, ma nel riuscire a riscontrare quanto viene riferito, tenendo conto dei limiti dovuti a processi mentali o dinamiche che possono scattare, vedi per esempio la paura di subire punizioni, di accusare qualcuno di qualcosa.

Quanto viene riferito dai testimoni diretti è principalmente qualcosa riconducibile alla memoria visiva, fonte non così affidabile come sembra.

“ Lei guarda ma non vede”, così Sherlock Holmes giustificava le sue deduzioni rimproverando il Dottor Watson, la realtà vuole che la maggior parte delle persone sia proprio come il Dr. Watson.

Studi fatti hanno evidenziato come il cervello, per recepire le informazioni il più rapidamente possibile, attui una “selezione”, trascurando automaticamente ciò che non serve, che ritiene rimanga uguale, una specie di operazione di semplificazione,

4.2 Testimonianze

della quale noi siamo all'oscuro e che a volte tralascia dettagli non del tutto inutili. Non solo, il cervello adotta pure delle correzioni automatiche che permettono, attraverso degli anagrammi, di comprendere il senso complessivo di una parola, solo con la prima e l'ultima lettera al posto giusto. *Qeutso secnodo un Pfrsseore dell'Unviesrità di Cmabrdige, si d'vve al ftato che la mtene uanma non lgege ongi ltetera una ad una, ma la paolra nel suo insineme.*

La memoria in generale, ma quella visiva in particolare è dunque un qualcosa di personale e incompleto, quindi ogni fatto viene inconsciamente filtrato nel processo di acquisizione e successiva comprensione e ciò si può tradurre in ricostruzioni differenti che non collimano perfettamente tra di loro.

L'aspetto emotivo, gli scherzi che può giocare la mente e altre dinamiche che si possono innescare, sono tutti elementi che il CT deve considerare nel valutare le testimonianze.

Nell'approccio, cercare di essere:

disponibile e comprensivo, ma anche duro, se necessario, in quel momento il consulente tecnico è nella posizione di poter pretendere collaborazione;

il più neutrale possibile, non lasciare per questo trasparire stupore, disappunto, soddisfazione per un'affermazione, per non influenzare il testimone;

non esprimere giudizi, mai, anche se si sa per certo che quelle che si stanno ascoltando sono cose non del tutto veritiere;

non insistere su un aspetto in particolare, per evitare che la testimonianza si concentri solo su quello;

può risultare utile far ripetere più volte e in diverse occasioni la stessa cosa, permette sia di aggiungere continuamente dettagli che di dare un ordine cronologico ai fatti;

non dimenticarsi mai dell'influenza che l'intervistatore ha sull'intervistato.

Nell'organizzazione delle interviste conviene:

stabilire un preciso gruppo di domande da fare a tutti quei testimoni che si ritiene possano essere informati degli stessi fatti, così da rendere le varie versioni confrontabili;

fissare le interviste in modo i testimoni non riescano ad influenzarsi a vicenda;

Una volta raccolte tutte le testimonianze ritenute indispensabili, si cercheranno ai fatti esposti riscontri oggettivi e si valuteranno le eventuali contraddizioni.

4.2.1 Conduzione intervista

L'intervista non è altro che un colloquio, durante il quale si raccolgono le testimonianze, che necessita di essere articolato seguendo un criterio ben preciso, in modo da rispettare tutte le peculiarità di questa tipologia di evidenze. Tale incontro andrebbe sviluppato secondo quattro fasi principali:

4.2 Testimonianze

1. Conoscenza
2. Fase di domande a risposta aperta
3. Fase di domande a risposta secca
4. Conclusioni

La fase iniziale è di conoscenza, si cerca di instaurare con il testimone quel rapporto di fiducia reciproca e di collaborazione determinanti ai fini della raccolta del maggior numero di informazioni. Generalmente può essere opportuno incominciare presentando lo scopo dell'investigazione, la sua articolazione, seguita da domande e argomentazioni piuttosto neutre, che non siano particolarmente coinvolgenti, una sorta di "fase rompi-ghiaccio". Successivamente si lascia il testimone libero di esporre i fatti in modo continuo, senza essere interrotto e senza cercare di indirizzare il discorso verso un particolare aspetto. Fondamentale rispettare i tempi e i modi che il testimone adotta per richiamare alla mente i fatti, la modalità con cui li espone, i silenzi. La seconda è quindi una fase principalmente d'ascolto. Si arriva poi al momento che rappresenta l'intervista vera e propria nell'immaginario collettivo, quello delle domande e risposte. Conviene preparare un set di quesiti da porre a tutti quei testimoni che si pensa siano informati dei medesimi fatti, per poter poi confrontare le diverse versioni, con la libertà di aggiungere di volta in volta quelle domande utili ad approfondire aspetti emersi nelle fasi precedenti, di cui si è preso nota. La tendenza del testimone è solitamente quella di generalizzare, con l'utilizzo di termini quali: *sempre*, *tutti*, *loro*, che vanno corretti, chiedendo di specificare. Inoltre persone diverse hanno in mente differenti definizioni per lo stessa parola, a

scanso di equivoci, si deve cercare di chiarire chiedendo esattamente cosa si intende. Un esempio in tal senso, dal caso Thyssen, dove la maggior parte dei testimoni, operai di stabilimento, indicano come *spianatrice* quel componente che comunemente viene chiamato raddrizzatrice.

Le aree di interesse per le domande hanno principalmente a che fare con:

- Tempo, di accadimento;
- Posizione, di persone, oggetti, indicatori;
- Direzione, di sviluppo del fenomeno, verso cui un testimone guardava;
- Modifiche, passate o recenti ad impianti, procedure operative e guasti, risolti, ricorrenti;
- Opinioni, a 360 gradi.

La parte finale dell'intervista è quella delle conclusioni, dove, oltre alle opinioni personali del testimone, è buona prassi riassumere il contenuto degli appunti presi durante il colloquio, chiedendone conferma allo stesso.

Così facendo si dà la possibilità all'intervistato di correggere eventuali errori, di puntualizzare, concentrandosi magari su dettagli che inizialmente erano stati tralasciati.

A conclusione dell'intervista, si invita il testimone a ricontattare il consulente se

4.2 Testimonianze

sentirà la necessità di aggiungere qualcosa a quanto dichiarato. Può risultare utile, prima di procedere con un altro testimone, valutare per interesse ed affidabilità le informazioni ricevute, individuando quelle più significative ed evidenziando eventuali discordanze emerse, rispetto ad altre testimonianze o a rilievi effettuati. La cosa migliore è provvedere a registrare in qualche modo quanto emerge da questo bilancio, per lasciarne memoria, facilitando il successivo controllo incrociato. Conviene inoltre attendere di aver raccolto informazioni da tutti i testimoni prima di emettere un giudizio in merito in quanto solo l'analisi delle testimonianze nel loro insieme può amplificare o no eventuali incongruenze, mettere in rilievo un fatto specifico, tralasciarne altri. Da qui può emergere la necessità di convocare nuovamente un testimone, cercarne di nuovi legati ad un particolare aspetto o semplicemente incentrare la ricerca di altre evidenze in una specifica zona del sito.

In nessuna fase dell'indagine si può procedere per compartimenti stagni e proprio le varie evidenze, qui trattate separatamente per chiarezza espositiva, sono in realtà intrinsecamente connesse tra di loro, come i colori di un quadro, dove tutti contribuiscono a dar forma al disegno, nessuno escluso.

4.3 Documentazione cartacea

La raccolta della documentazione cartacea durante l'indagine risulta utile soprattutto per alimentare la conoscenza PRE incidente ed è importante venga fatta con una certa rapidità in quanto il rischio di falsificazione è reale ed elevato. Può risultare conveniente a tal proposito, chiedere di acquisire tali evidenze attraverso il sequestro, predisposto e controllato dall'autorità competente.

Hanno priorità inoltre tutti quei documenti conservati in ambienti esposti all'incidente, per evitare che si deteriorino ulteriormente e per i quali può essere necessario predisporre una pulizia o una decontaminazione.

Importante poi definire quanto prima una Chain of custody, per identificare, registrare e custodire tutti i documenti originali, dei quali, se necessario, verrà fatta una copia.

La documentazione cartacea può essere suddivisa in tre categorie principali, elencate di seguito in modo non esaustivo.

➤ Documentazione di sicurezza

- Valutazione del rischio, ex D.Lgs 81/08;
- Valutazioni di rischio specifiche, se necessarie, vedi per esempio rischio di

4.3 Documentazione cartacea

incendio, di esposizione ad atmosfere esplosive, rischio chimico;

- Rapporto di sicurezza di stabilimento, ex D.Lgs 334/1999 per le aziende che risultano tra quelle a rischio di incidente rilevante;
- Certificato Protezione Incendi, noto come CPI, per le attività soggette ai disposti del D.M. 16/02/1982 e tutte le pratiche ad esso connesse, vedi richieste di adeguamenti, autorizzazioni;
- Decreto di Concessione Ministeriale, se applicabile;
- Verbali delle visite ispettive, condotte a vario titolo sull'attività da parte di autorità, enti terzi indipendenti, istituti vari, vedi per esempio i Vigili del fuoco, l'Ispettorato del lavoro, la Magistratura, Aziende Regionali di Protezione dell'Ambiente ecc...

Tutti questi documenti dovrebbero essere presenti in azienda e firmate dal datore di lavoro.

➤ Documentazione aziendale

- Organigramma aziendale;
- Documenti di nomina e delega, cioè che definiscono per esempio gli addetti al primo soccorso, i responsabili del Servizio di Prevenzione e Protezione;

- Documenti che definiscono nomine e deleghe in materia di sicurezza, vedi per esempio la squadra antincendio;
- Documenti che definiscono le mansioni, individuando quindi ruoli, responsabilità, autorità, i collegamenti sia gerarchici che funzionali;
- Contratti con ditte di manutenzione, di pulizie e documenti relativi a spese ed interventi effettuati da queste;
- Registri di avvenuta formazione dei lavoratori con annessi gli attestati di frequentazione;
- Documenti relativi alla gestione aziendale, in particolare il Sistema di Gestione della Sicurezza, SGS, necessario per le aziende che appartengono alla categoria a rischio di incidente rilevante, costituiti quindi da manuale, procedure e istruzioni operative, riesami periodici effettuati dal Gestore ecc.;
- Registrazioni di eventuali incidenti accorsi e modifiche predisposte;
- Piano di emergenza interno.

4.3 Documentazione cartacea

- Documentazione di progetto e di produzione
 - Planimetrie generali e di dettaglio;
 - Schemi elettrici e dei servizi;
 - Schemi strumentali ed elettrici in dettaglio;
 - Schemi di marcia;
 - Documenti di progettazione;
 - Fogli di lavorazione;
 - Descrizione di eventuali reazioni chimiche, sia normali che anomale;
 - Schede di sicurezza di sostanze pericolose, se presenti;
 - Valori di allarmi e di blocco;
 - Documentazione relativa alla movimentazione interna ed esterna di materie prime, prodotti, rifiuti, vedi registri, bolle di accompagnamento.

4.4 Documentazione digitale

Nell'ambito di un'indagine tecnica a seguito di un incidente, di qualsiasi natura esso sia, per dati digitali si intendono quelle informazioni veicolate da sistemi informatici, per le quale quindi il mezzo informatico è puramente strumentale. Quando invece l'investigazione ha a che fare con crimini informatici, la parte tecnologica è l'oggetto stesso del reato, si parla quindi di *Computer forensic* per indicare un'indagine di natura informatica, che necessita di competenze specifiche che vanno ben oltre l'interesse di questa trattazione.

Solitamente quello che più interessa all'interno di un'indagine nell'ambito di incidenti industriali sono i database registrati dai sistemi di controllo e di allarme, oltre alle mail. Nell'ottica di individuare quei concetti generali significativi va subito evidenziato come, per preservare dati, informazioni, non sia sufficiente il semplice blocco fisico degli accessi al pc, è indispensabile isolarlo telematicamente. Per far questo, il modo più semplice è spegnerlo, anche se così facendo ci si priva della possibilità di monitorare il proseguo degli avvenimenti, l'approccio sarà quindi più o meno drastico a seconda di quello che si sta cercando.

Come per le altre evidenze, è importante rispettare l'ordine di volatilità dei dati che può essere riassunto dalla tabella:

4.4 Documentazione digitale

Tabella4.1. Checklists per l'esame delle fonti di prova, adottata da AiChE, Guidelines for Investigating Chemical Process Incidents, second edition

registri CPU e cache	vita dell'ordine dei nanosecondi
memoria principale	vita dell'ordine dei nanosecondi
stato di una rete	vita dell'ordine dei millisecondi
processi in esecuzione	vita dell'ordine dei secondi
HD	vita dell'ordine da minuti ad anni
supporti backup	vita dell'ordine da mesi ad anni
CD-R, DVD	vita dell'ordine della decina di anni

Importante la verifica dell'ora CPU della macchina da cui provengono i dati, altrimenti può risultare complicato collocare gli eventi in modo attendibile, vedi per esempio se si ha a che fare con le stringhe, generate dai sensori distribuite lungo l'impianto, che riportano i codici di allarme.

Può risultare opportuno, per quanto di interesse ad un'indagine in ambito industriale effettuare le seguenti azioni:

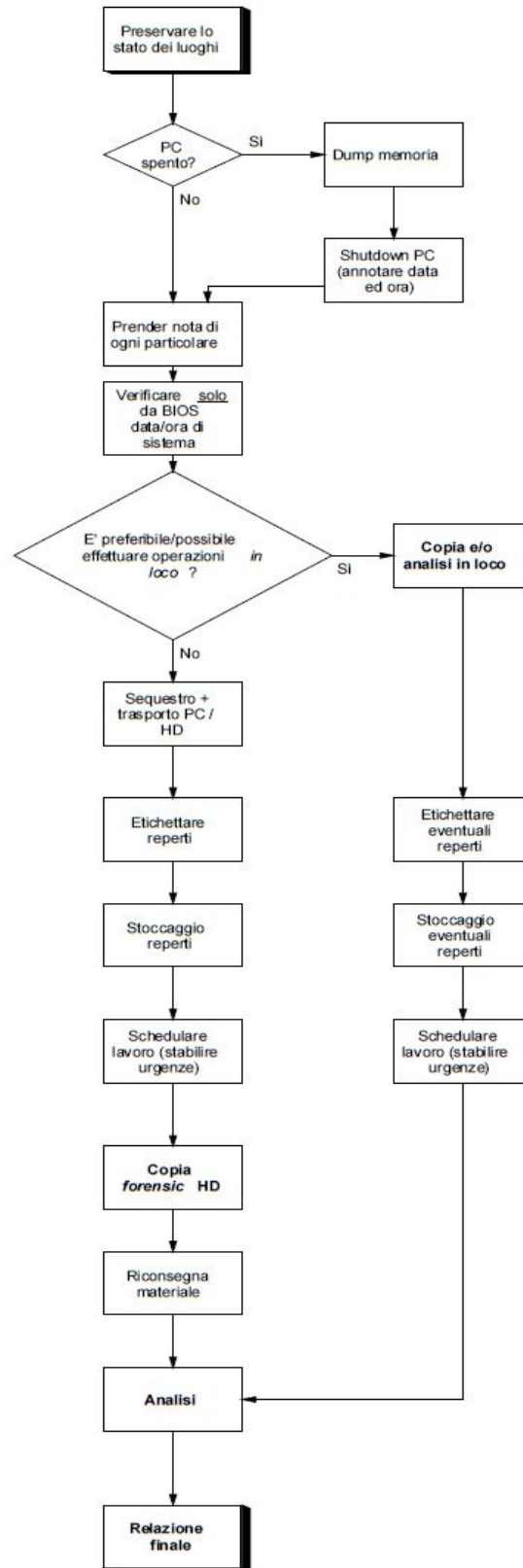
- esame semplice del pc, per esempio per individuare e stampare le mail, che conviene siano controfirmate da tutti i presenti;
- acquisizione di file su supporto non alterabile, con il recupero, se possibile e utile, dei file cancellati;
- effettuare una copia del Hard Disk (HD) in loco;

- sequestrare l'HD;
- sequestrare l'intero Hardware.

Da tenere presente che la documentazione digitale va prelevata e trattata con particolare attenzione in quanto è fondamentale mantenga conformità all'originale, per poter avere valore probatorio. Per questa tipologia di evidenza, in particolare, è essenziale indicare una catena di rintracciabilità, dalla raccolta all'eventuale utilizzo a processo, sia delle operazioni effettuate che degli operatori addetti, così da poter certificare che i dati non hanno subito modifiche.

Figura 4.1. Raccolta dati digitali tratto da “Computer Forensic: Metodologie di indagine in ambito tecnico-giudiziario”, tesi di laurea di Fabrizio Mario Vinardi

4.4 Documentazione digitale



4.4 Fotografie

Particolare attenzione meritano le fotografie, tra tutte le evidenze, in quanto rappresentano una finestra sul luogo dell'incidente.

Diventano memoria, dettagli, posizioni, punto di partenza di altre ricerche, sostegno di considerazioni. Le fotografie segnano l'evoluzione dell'indagine, dal primo sopralluogo dopo l'incidente, ai successivi, che avvengono anche a distanza di mesi, di anni. Requisiti fondamentali per queste prove quindi, essere rappresentative e identificabili e facilmente consultabili.

Rappresentative e identificabili, cioè dev'essere ben evidente il soggetto della fotografia, la sua posizione, il contesto cui è riconducibile.

Consultabili, cioè conviene catalogare tutte le fotografie dei diversi sopralluoghi, così da poterne avere un panoramica completa in dettagli e tempi.

In pratica si procede in due step :

- raccolta vera e propria delle fotografie dal luogo dell'incidente, durante il sopralluogo
- catalogazione delle fotografie raccolte, post sopralluogo

Questo procedimento si ripete per ogni sopralluogo, andando via via ad integrare con le immagini nuove la collezione già esistente.

4.4.1 La Raccolta delle fotografie

Per raccolta delle fotografie si intende scatto della foto ma anche sua contemporanea identificazione, così da semplificare la successiva fase di catalogazione.

Operativamente parlando conviene, durante il primo sopralluogo, regolare data e ora della macchina fotografica e segnare a che numero corrisponde la prima fotografia che si scatta, così da fissare l'inizio della raccolta.

Può essere utile disporre di diversi obiettivi ausiliari:

- quadrangolare, rivela la correlazione spaziale tra oggetti diversi;
- teleobiettivo, fissa oggetti che sono difficili da raggiungere;
- macroobiettivi, quando le riprese sono particolarmente ravvicinate.

Non si deve mai dimenticare che quello che si fotografa non è propriamente quello che il nostro occhio visualizza, molto dipende dalle condizioni di illuminazione inoltre per ricostruire la corretta prospettiva conviene fare più fotografie, dello stesso soggetto, da diverse angolazioni. Aiuterebbe anche l'utilizzo di un cartoncino, come sfondo, meglio se sui colori pastello, per migliorare la precisione dell'immagine, ma visto il contesto nel quale si opera, diventa improbabile il suo utilizzo.

Per rispondere alla necessità che la foto sia il più rappresentativa possibile, si

utilizzano spesso elementi di riferimento, per caratterizzarla nella prospettiva, per evidenziare dettagli. A tal fine si può ricorrere all'utilizzo di elementi riferimenti quali una mano, un foglio di carta, un oggetto, appartenenti alle più svariate tipologie, come si evince dalle fotografie di seguito:

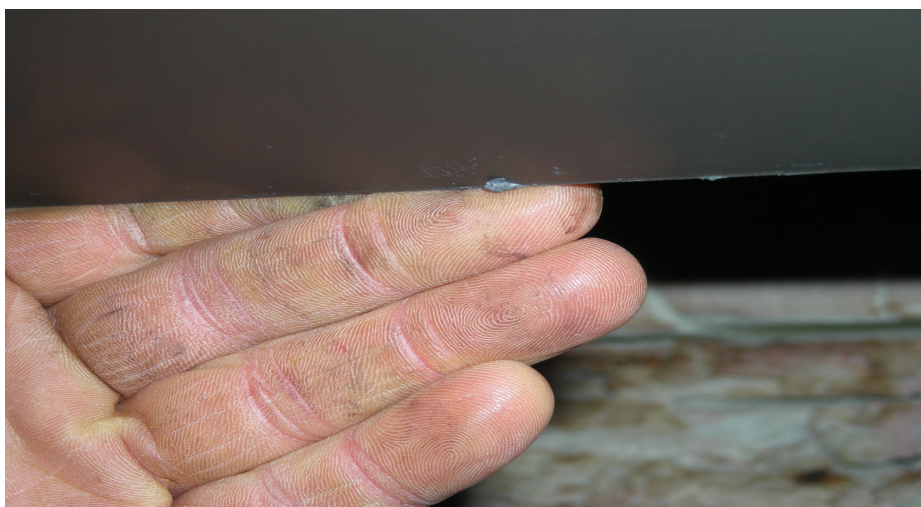


Foto1. Dettaglio di sbavatura presente sul bordo lamiera, Thyssenkrupp Torino

4.4 Fotografie



Foto2. Dettaglio della non corretta centratura della lamiera, Thyssenkrupp Torino

Per caratterizzare la foto da un punto di vista dimensionale risulta più utile l'impiego di un righello graduato o di un oggetto di uso comune, ad esempio una moneta, da introdurre nel campo di ripresa vicino al soggetto della fotografia.



Foto3. Dettaglio delle saldatura tra colis successivi, Thyssenkrupp Torino

La posizione che occupa il soggetto della fotografia rispetto alla sua collocazione iniziale oppure rispetto a quello che si ipotizza essere il punto dal quale ha avuto origine l'evento è un'informazione di grande interesse in quanto può essere caratterizzante il fenomeno, si pensi per esempio al rinvenimento di frammenti proiettati, post esplosione. Esistono in commercio macchine fotografiche con il GPS integrato che rendono immediata la localizzazione anche se tale funzione opera solo in ambienti all'aperto, spesso invece gli incidenti si verificano all'interno di edifici, magazzini, fabbriche. Strumento quindi valido ma non sempre utilizzabile. Si può quindi optare per un metodo meno preciso ma anche meno vulnerabile, che permette di individuare il punto di rinvenimento dell'evidenza in questione mediante l'utilizzo di un metro flessibile, che misura la distanza effettiva del soggetto della fotografia rispetto ad un riferimento scelto. Tale informazione verrà poi registrata sulla planimetria del sito, dell'impianto, dove andrà indicato con chiarezza il riferimento adottato per la misurazione.

4.4 Fotografie

Il fatto di riuscire, mentre si fotografa, ad annotare qualche caratteristica del soggetto che si sta immortalando, può risultare parecchio vantaggioso, nell'ottica di raccogliere il maggior numero di informazioni possibili, deve essere però un'operazione veloce e semplice. In questo senso può rivelarsi interessante l'idea di tenere al collo, grazie ad una cartellina (così si ha in mano solo la macchina fotografica) un foglio, contenente una tabella, da compilare. A seconda della scena dell'incidente, della complessità e tipologia del sito, si potranno utilizzare diverse schede, una per ogni sezione dell'impianto, oppure una per ogni zona che si osserva, da raggruppare poi per sopralluogo.

A parte forse la prima, tutte le altre ispezioni vengono predisposte e concordate tra le parti, non essendo possibile un libero accesso al sito, si cerca quindi di sfruttare al massimo il tempo a disposizione, pianificando già prima, un minimo, gli elementi verso i quali indirizzare l'attenzione. A questo si potrebbe associare l'individuazione della tabella più appropriata.

Esempio scheda .

N.	<input type="text"/>	M	dM	C	dC	<input type="text"/>	note
----	----------------------	---	----	---	----	----------------------	------

Legenda: N. numero foto □ foto d'insieme
 M macchinario d M dettaglio macchinario
 C circuito dC dettaglio circuito
 ○ singolo elemento

La raccolta dovrebbe avvenire con il solito approccio, secondo una spirale, dal generale al particolare: scattando prima fotografie dell'insieme e andando via via nel dettaglio, il singolo macchinario poi dettaglio del macchinario (che può essere residuo d'olio, danno, bruciatura, carta incastrata) oppure se ci si sta concentrando

4.4 Fotografie

per esempio su un circuito oleodinamico, il dettaglio di circuito potrebbe essere un flessibile. Per singolo elemento si può intendere un estintore, il pezzo di un tubo, una saldatrice.

Si identifica il soggetto della fotografia semplicemente apponendo una croce nella casella corrispondente e sfruttando la parte note per qualche dettaglio utile, operazione quindi che richiede pochissimo tempo. Nel caso la quinta fotografia scattata fosse la raddrizzatrice, dopo avere indicato il numero 5 (in N) corrispondente e bannato la casella relativa al macchinario (M), potrebbe essere utile inserire in nota per esempio che si sta fotografando dal lato operatore dell'impianto.

La fotografia poi parla da sé quindi il commento a lato diventa importante per contestualizzare, nel caso ad esempio di flessibili, a che macchinario corrispondano, oppure per fissare una posizione.

Procedere con rigore dal macro al micro può risultare nella realtà complicato per le fotografie, capita spesso che saltino agli occhi “in corsa” dei dettagli da immortalare, però il fatto di aver registrato quanto fotografato attraverso la tabella, permette di avere memoria e magari provvedere, verso fine sopralluogo, a fare qualche foto, se utile, alla colonna che presenta meno caselle barrate. Intendere la fase di raccolta come scatto ed immediata identificazione dell'immagine è coerente con l'obiettivo primo di ogni sopralluogo, raccogliere il maggior numero di informazioni quando possibile perchè in un secondo momento potrebbe risultare complicato, se non improbabile.

4.4.2 La catalogazione delle fotografie

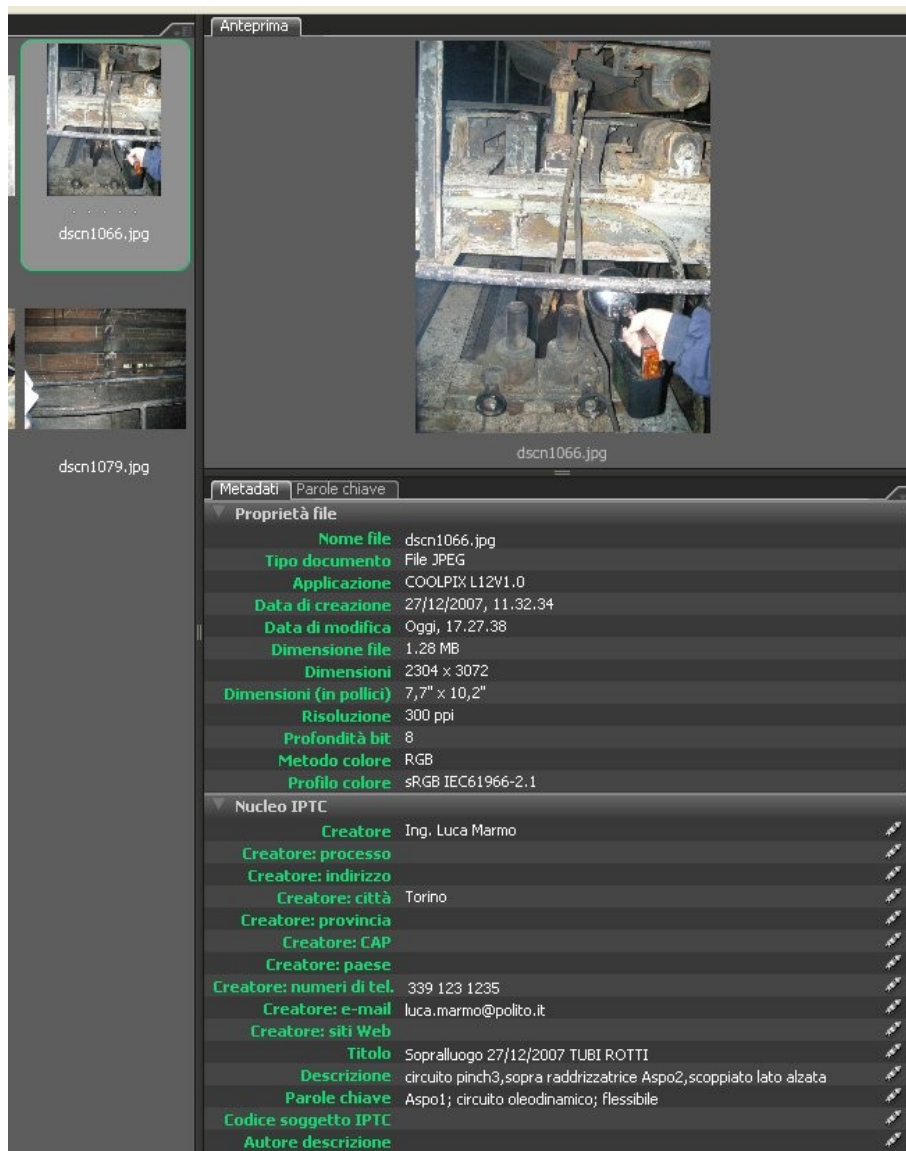
Per capire l'importanza della catalogazione delle fotografie raccolte, giusto qualche numero dall'indagine sull'incidente allo stabilimento ThyssenKrupp di Torino: 12 sopralluoghi, spalmati nell'arco di quasi due anni, per un totale di 468 foto. Di queste, solo 65, le più significative, sono state allegate alla relazione tecnica.

In commercio esistono diversi programmi, a pagamento e non, che permettono di schedare immagini, ma non solo, anche documenti e files vari.

L'idea alla base comune a tutti è che ad ogni fotografia corrisponda una *scheda di Metadati*, una sorta di carta d'identità dell'immagine stessa, all'interno della quale oltre alle caratteristiche proprie della fotografia, dedotte dalla macchinetta: ISO, data ecc, si possano indicare nome, indirizzo mail, dati vari di chi ha scattato la fotografia, di chi sta procedendo alla catalogazione e altre informazioni, proprie dell'immagine.

All'interno di una cartella di foto, selezionandone una in particolare, quello che appare relativo all'immagine di interesse è rappresentato in Figura 4.2.

4.4 Fotografie



The screenshot displays a software interface for photo cataloging. On the left, a vertical sidebar shows a list of photo thumbnails, with 'dscn1066.jpg' and 'dscn1079.jpg' visible. The main area is divided into two sections: a top preview section labeled 'Anteprima' showing a large image of industrial machinery, and a bottom metadata section. The metadata section is titled 'Proprietà file' and lists technical details such as file name, type, application, creation date, and dimensions. Below this, the 'Nucleo IPTC' section provides detailed information about the photo's origin, including the creator's name (Ing. Luca Marmo), location (Torino), and a detailed description of the scene (Sopralluogo 27/12/2007 TUBI ROTTI).

Proprietà file	
Nome file	dscn1066.jpg
Tipo documento	File JPEG
Applicazione	COOLPIX L12V1.0
Data di creazione	27/12/2007, 11,32,34
Data di modifica	Oggi, 17,27,38
Dimensione file	1,28 MB
Dimensioni	2304 x 3072
Dimensioni (in pollici)	7,7" x 10,2"
Risoluzione	300 ppi
Profondità bit	8
Metodo colore	RGB
Profilo colore	sRGB IEC61966-2.1
Nucleo IPTC	
Creatore	Ing. Luca Marmo
Creatore: processo	
Creatore: indirizzo	
Creatore: città	Torino
Creatore: provincia	
Creatore: CAP	
Creatore: paese	
Creatore: numeri di tel.	339 123 1235
Creatore: e-mail	luca.marmo@polito.it
Creatore: siti Web	
Titolo	Sopralluogo 27/12/2007 TUBI ROTTI
Descrizione	circuito pinch3,sopra raddrizzatrice Aspo2,scoppiato lato alzata
Parole chiave	Aspo1; circuito oleodinamico; flessibile
Codice soggetto IPTC	
Autore descrizione	

Figura 4.2 Esempio di scheda di metadati correlata ad una foto catalogata dall'indagine Thyssen

Le fotografie possono essere etichettate sia attraverso l'utilizzo di colori, per distinguere per esempio cose differenti, che inserendo delle stelle (da 0 a 5) che permettono di classificarle per importanza.

E' possibile inoltre nominare le varie etichette, tale nome andrà ad aggiungersi ai metadati della fotografia in questione e attraverso l'inserimento di parole chiave associate alle fotografie stesse, si potranno raggruppare le immagini in gruppi d'interesse, filtrare attraverso parole chiave o altri parametri selezionabili, come per esempio data, orientamento. Il fatto di poter aggiungere, togliere, modificare le parole chiave, le etichette, a seconda delle nuove fotografie che si aggiungono alla raccolta permette di aggiornare il catalogo, dopo ogni sopralluogo. Conviene evidentemente procedere alla catalogazione dopo ogni visita.

Tutto questo permette di creare un grande album ordinato, dell'intera collezione, all'interno del quale si potrà effettuare una ricerca per evidenziare ad esempio tutte le foto degli estintori, indipendentemente dalla data, oppure solo quelle ritraenti i flessibili rotti. In questo modo la consultazione diventa rapida ed estremamente efficace.

4.4 Fotografie



Parole chiave	
✓ Nessun Parole chiave	7
Aspo1	3
✓ Aspo2	10
circuito oleodinamico	13
flessibile	13

Data di creazione	
29/01/2009	1
27/12/2007	19

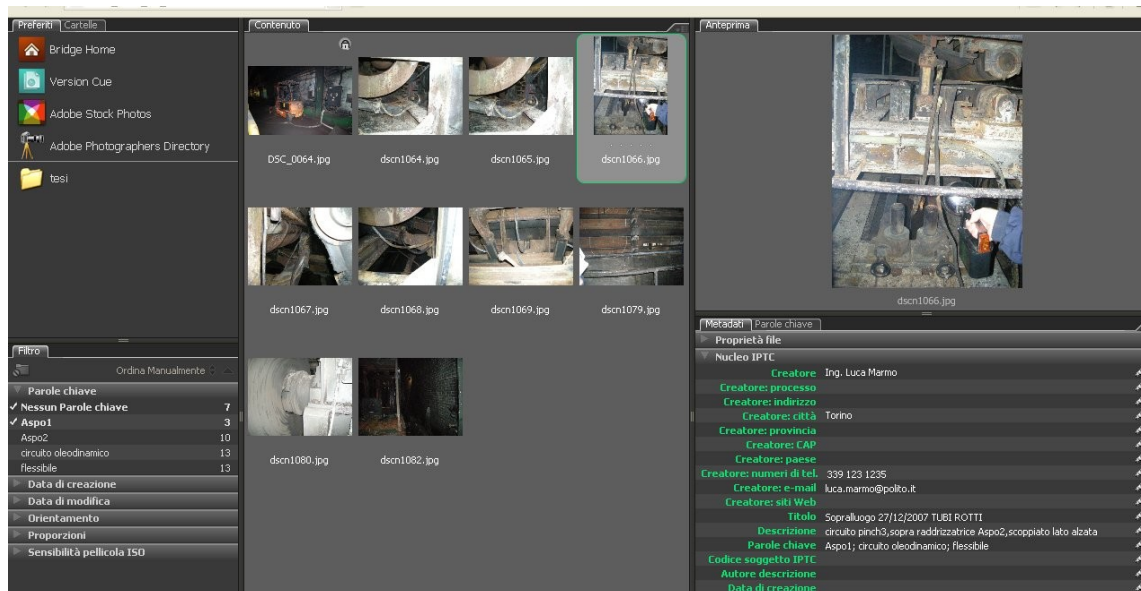
Data di modifica	
Oggi	1
10/12/2011	1
11/03/2011	17
29/12/2009	1

Orientamento	
Orizzontale	16
Verticale	4

Proporzioni	
2:3	1
3:4	19

Sensibilità pellicola ISO	
---------------------------	--

Figura 4.3 Esempio di possibili parole chiave per filtrare foto all'interno di una collezione



The screenshot shows the Adobe Bridge interface with a photo gallery on the left and a metadata panel on the right. The metadata panel displays the following information:

Proprietà file	
Nucleo IPTC	
Creatore	Ing. Luca Marmo
Creatore: processo	
Creatore: indirizzo	
Creatore: città	Torino
Creatore: provincia	
Creatore: CAP	
Creatore: paese	
Creatore: numeri di tel.	339 123 1235
Creatore: e-mail	luca.marmo@polito.it
Creatore: siti Web	
Titolo	Sopralluogo 27/12/2007 TUBI ROTTI
Descrizione	circuito pinch3,sopra a reddezzatrice Aspo2,scoppiato lato alzata
Parole chiave	Aspo1, circuito oleodinamico, flessibile
Codice soggetto IPTC	
Autore descrizione	
Data di creazione	

Figura 4.4 Esempio delle informazioni visualizzate cercando una foto mediante parole chiave

4.6 Evidenze fisiche

Per evidenze fisiche si intendono tutti quegli oggetti, di qualsiasi specie, rinvenuti sul luogo dell'incidente e che a vario titolo possono parlare di quanto accaduto attraverso i segni che presentano. Da un estintore, ad un tubo che è scoppiato, al flessibile di un circuito oleodinamico sfilato, al mozzicone di una sigaretta. Non solo, evidenze fisiche sono considerate anche i danni che impianti, strutture e gli stessi oggetti presentano: una frattura, parti corrose, ammaccature, macchie di colore, qualsiasi modifica al loro stato originario.

Si è visto come per tutte le evidenze che si raccolgono è importante definire e rispettare una Security Chain of Custody, per queste risulta essenziale.

Va precisato che la raccolta delle evidenze fisiche avviene su due livelli. Il primo, quello immediato e di obbligo in quanto si è all'interno di un processo penale, che prevede l'identificazione di tutto ciò che viene rinvenuto sul luogo dell'incidente, a prescindere dal fatto che possa rivelarsi elemento utile ai fini dell'indagine. Cosa successivamente va trattenuto in sequestro, lo stabilisce il PM, anche sulla base delle indicazioni del consulente. Il secondo livello, quello più approfondito, prevede la selezione, a partire dalle evidenze reputate significative, di campioni, che verranno successivamente analizzati.

In generale, a prescindere dal tipo di evidenza fisica, la raccolta prevede:

4.6 Evidenze fisiche

- Identificazione con etichetta, grazie ad un sistema di numerazione definito a priori;
- Registrazione del riconoscimento attraverso fotografia;
- Individuazione della modalità e luogo di conservazione più idoneo, in virtù della dimensione del reperto, delle sue criticità, del tempo di custodia, nell'ottica sempre di non alterarlo minimamente;
- Individuazione del responsabile alla custodia.



Foto 4 e 5. Identificazione di estintori mediante etichettatura e successiva registrazione del riconoscimento tramite fotografia, ThyssenKrupp Torino

4.6.1 Campionamento

Il prelievo di campioni, o di parti, da un'evidenza è volto all'analisi e rappresenta una fonte di informazione di grande interesse in quanto permette di estrapolare valori relativi a caratteristiche chimico-fisiche, strettamente attinenti all'evento incidentale accorso.

E' importante che ogni operazione venga verbalizzata e che rispetti la normativa specifica, cui si cita, a titolo di esempio:

UNI ISO 11648- 1 e 2: 2008. Aspetti statistici campionamento dei materiali sfusi.

UNI EN ISO 10715: 2001. Gas naturale, guida al campionamento.

UNI EN ISO 3171: 2001. Prodotti petroliferi liquidi, campionamento automatico.

UNI EN ISO 4257: 2003. Gas di petrolio liquefatti, campionamento.

Partendo dall'osservazione di un caso specifico, il *Campionamento di residui d'incendio* alla ricerca di eventuali acceleranti di fiamma (nell'ambito della valutazione della possibile origine dolosa dell'incendio), si possono estrapolare considerazioni relative al campionamento in generale. Va tenuta ben presente sia la vastità della materia che l'interesse di questa trattazione, si rimanda quindi alla letteratura specifica [6] per gli approfondimenti all'argomento.

L'iter di campionamento prevede:

Selezione campione

Prelievo campione

Imballaggio campione

Sigillatura imballaggio

Trasporto al laboratorio analisi

4.6.1 Selezione del campione

Non esiste una definizione univoca di cosa significhi selezionare un campione, molto dipende dal caso specifico, da cosa si sta cercando. A volte c'è la necessità di individuare le caratteristiche relative ad un grosso insieme, quindi a partire da questo, in generale, selezionarne un campione significa individuare quella porzione, quella parte, in grado di essere *rappresentativa* dell'intera evidenza, caratterizzata quindi dalle medesime proprietà e peculiarità. Solo rispettando questa condizione, i risultati delle successive analisi possono avere valore probatorio. Altre volte invece l'esigenza è proprio quella opposta, di cercare come si suol dire “l'ago nel pagliaio”. E' il caso del campionamento dei residui di incendio, se si è alla ricerca di quel poco di accelerante rimasto, i campioni andranno presi da più punti possibili del sito, senza un particolare criterio di selezione, se non logicamente preferire i residui di

combustione e i materiali esposti ai fumi.

I criteri alla base della scelta devono tener conto:

- ➔ Proprietà del liquido infiammabile: in particolare la volatilità, che è l'aspetto più importante e caratteristico di queste sostanze, che tendono ad evaporare facilmente, rimanendo in piccole concentrazioni nei residui di combustione. Non solo, si deve tener presente che molto spesso si tratta di miscele di liquidi, a volatilità differente, che quindi cambiano composizione relativa;
- ➔ Proprietà del substrato, in particolare le sue caratteristiche superficiali, in base alle quali possono oppure no essere sopravvissuti liquidi infiammabili o loro tracce. Se il substrato è affine all'accelerante, lo trattiene più facilmente;
- ➔ Localizzazione del campione, cioè la sua posizione fisica, non solo all'interno di una stanza, ma anche e soprattutto rispetto al fuoco: se è rimasto riparato è più probabile abbia mantenuto una quantità superiore di acceleranti di fiamma rispetto a pezzi esposti direttamente alle fiamme, dove si sono raggiunte le temperature più elevate.

Essenziale è l'individuazione di un campione di riferimento, chiamato “bianco” ambientale, in quelle zone dove si può escludere con certezza la presenza di

acceleranti, così da individuare eventuali sostanze già presenti nei materiali appartenenti al luogo dove è avvenuto l'incendio, che quindi non possono essere considerate tra quelle di origine dolosa.

4.6.1.3 Prelievo del campione

Il processo di estrazione del campione dall'evidenza dipende molto dalla natura dell'evidenza stessa, si parla quindi di campionamento diretto o indiretto a seconda di cosa si preleva. In entrambi i casi è fondamentale documentare l'intera operazione con fotografie e attraverso mappe o note, che permettano di memorizzare caratteristiche e posizione del campione prima della raccolta.

E' prassi effettuare un "prelievo in triplo" per ogni campione o eventualmente prelevare una quantità di materiale sufficiente alla suddivisione in tre parti uguali, una per l'analisi di parte, una per quella di controparte e un'altra per eventuali controlli effettuati dall'autorità giudiziaria successivamente.

1. Campionamento diretto

Viene prelevata una porzione del substrato stesso, ad esempio un pezzo di stoffa, legno e su questo verranno effettuate le analisi alla ricerca di acceleranti di fiamma.

La dimensione è importante e non vale la relazione: più materiale si prende, meglio è, in quanto molto spesso risulta poi complicato conservare pezzi di grandi dimensioni. Durante questa operazione, va dedicata particolare attenzione al *rischio contaminazione*, che può essere ridotto al minimo utilizzando:

- guanti monouso;
- strumenti nuovi o se già utilizzati per altri campionamenti, non inquinati;
- strumenti idonei alla sostanza da prelevare, che non ne alterino né la composizione chimica e neppure le caratteristiche fisiche.



Foto 6. Prelievo di porzione di lamiera dal nastro in lavorazione, ThyssenKrupp Torino



Foto 7. Successiva identificazione del campione prelevato mediante numerazione, ThyssenKrupp, Torino

2. Campionamento indiretto

In generale, il campionamento indiretto prevede l'utilizzo di un substrato, definito “di raccolta”, che capta la sostanza di interesse e che è differente a seconda che si abbia a che fare con gas e vapori, liquidi o polveri e in base al tipo di sostanza. Il carbone attivo, ad esempio, si presta come substrato per il campionamento dei vapori dei solventi organici, mentre se si devono captare sostanze polari come le ammine, si utilizzano fiale con gel di silice. Se si ha a che fare con sostanze complesse, in cui sono presenti contemporaneamente sia forme corpuscolari che vapori, è il caso dei IPA, si utilizza un substrato di raccolta definito a “doppio treno” in quanto composto da una membrana e una fiala contenente una sostanza adsorbente. Con le polveri si utilizzano solitamente delle membrane mentre i liquidi vengono

campionati per assorbimento, per esempio servendosi di tamponi o spugnette.

4.6.1.3 Imballaggio del campione

Il campione, dopo essere stato prelevato, viene inserito all'interno di un contenitore per proteggerlo durante lo stoccaggio e il trasporto al laboratorio di analisi. In particolare si vuole preservarlo da tre tipi di alterazioni:

- perdita;
- contaminazione;
- degradazione.

I fattori che possono alterare il campione sono molteplici, dal tipo di materiale del contenitore, alla presenza di umidità, all'esposizione al sole e al calore o alla presenza di ossigeno, dipende da cosa si campiona.

In commercio esistono diverse tipologie di imballaggi, la scelta ricadrà su quello più idoneo in relazione a cosa dovrà contenere, in generale comunque è possibile indicare le caratteristiche del contenitore ideale:

1. facilmente disponibile;
2. poco costoso;

4.6 Evidenze fisiche

3. facile da trasportare e stoccare;
4. facile da sigillare (e successivamente da togliere il sigillo);
5. incontaminato;
6. resistente a danni, fori, rotture e tagli.

Per minimizzare la possibilità di contaminazione dovuta a questa fase, può risultare utile adottare contenitori tutti uguali, comprati in stock, dopo averne analizzato uno vuoto, così da conoscere eventuali contaminazioni già esistenti, prima ancora dell'utilizzo. Non solo, per controllare inquinamento dovuto alla fase di trasporto, si manda ad analizzare assieme ai campioni pure un contenitore vuoto.

In gergo si chiama “bianco” e può essere legato all'imballaggio oppure all'ambiente stesso e funge da riferimento per interpretare i risultati delle analisi.

Tabella 4.2. Tipologie di contenitori per campioni e caratteristiche

TIPO	CARATTERISTICHE	VANTAGGI	SVANTAGGI
Barattolo di metallo	<ul style="list-style-type: none"> - tappo con chiusura a frizione - di diverse dimensioni (solitamente si usa quello da 1 o da 4 litri) - può essere rivestito internamente 	<ul style="list-style-type: none"> - non troppo costoso - elevata resistenza in generale (per es. ai fori) - facilità di stoccaggio, apertura e chiusura - buona barriera fisica, per perdite e contaminazioni 	<ul style="list-style-type: none"> - non adatti a contenere campioni con forme particolari - rischio corrosione, se il campione è umido
Barattolo di vetro	<ul style="list-style-type: none"> - tappo metallico a vite - di diverse dimensioni 	<ul style="list-style-type: none"> - trasparente - incontaminabile (attenzione però al tappo) 	<ul style="list-style-type: none"> - fragile
Sacchetto di plastica	<ul style="list-style-type: none"> - diversi tipi di chiusura (a pressione, a zip, a caldo, che è la migliore) - diversi materiali (nylon, pvc...) 	<ul style="list-style-type: none"> - trasparenti - flessibili - occupano poco spazio da vuoti - non subiscono rottura per caduta 	<ul style="list-style-type: none"> - si possono bucare, strappare - a seconda del materiale, subisce effetto dell'aumento di temperatura e della presenza di solventi, ossidanti - può essere permeabile a molte sostanze

Da evidenziare che si è semplicemente accennato ai contenitori di plastica, in quanto appartengono ad una categoria vastissima per tipologie ed utilizzi, esiste

4.6 Evidenze fisiche

quasi una corrispondenza biunivoca tra tipo di plastica del contenitore e contenuto, che va rispettata.

Una buona regola, in generale, è non riempire mai completamente il contenitore, solitamente non si supera il 70% della sua capacità. Per quanto riguarda il mondo della plastica, si è citata unicamente una tipologia di contenitori, pur esistendone svariate ed è importante evidenziare come esista quasi una corrispondenza biunivoca tra campione e sue caratteristiche chimiche e la scelta della materia plastica del contenitore.

L'operazione di imballaggio finisce con l'etichettatura del contenitore, attraverso numerazione identificativa del campione, a volte si indica pure il numero del prelievo, a parità di campione.



Foto 8. Campioni inviati al laboratorio di analisi in barattoli di vetro, La Spezia



Foto 9. Campioni inviati al laboratorio di analisi in sacchetto di plastica con chiusura a zip, La Spezia

4.6.1.4 Sigillatura dell'imballaggio

Apporre un sigillo è l'ultimo step del processo di campionamento ed è fondamentale in quanto certifica il fatto che il contenitore non sia stato aperto.

Tutte queste operazioni sono registrate sia attraverso fotografie, che mediante la compilazione di una *scheda tecnica*, da allegare al campione (in generale anche a reperti fisici), indicante:

- numero identificativo del reperto
- data prelievo

4.6 Evidenze fisiche

- persona responsabile del prelievo
- tipo di contenitore e di chiusura
- contenuto o tipo di reperto
- indicazioni sulla conservazione

Capitolo 5

Applicazione del metodo ai tre casi di studio

5.1 Introduzione

Quanto descritto fino a questo momento circa lo sviluppo di un'indagine tecnica ha dovuto attingere necessariamente da informazioni presenti in letteratura, visto che l'iter da rispettare per la stesura di una relazione tecnica è legato a step necessari e a fonti di informazioni ben definite. Il “taglio” dato alla trattazione, i concetti evidenziati, gli esempi, sono frutto dell'analisi di tre indagini reali realizzata attraverso lo studio delle relazioni tecniche depositate, la visione di documenti, foto, la consultazione delle consulenze di parte, la lettura delle sentenze, quando possibile.

Proprio questi casi di studio verranno presentati nel loro sviluppo attraverso il metodo individuato, partendo da una descrizione in sintesi del processo produttivo dell'azienda prima dell'evento incidentale, per arrivare alla ricostruzione della

dinamica incidentale accorsa.

E' importante ricordare che, a prescindere dal tipo di incidente, la relazione tecnica deve essere in grado di rispondere ai quesiti che il PM (o il giudice) ha posto al CT (o al perito), il consulente quindi inizia l'investigazione non solo con la conoscenza di ciò che è noto dell'incidente ma ponendo pure degli obiettivi iniziali, utili a dare risposte a tali quesiti. Fermo restando sia che il progresso dell'indagine è in continuo divenire e sia che chi la conduce debba essere ricettivo a 360 gradi.

Per chiarezza espositiva nel presentare lo sviluppo delle indagini mediante la Spirale Conica, le varie evidenze verranno identificate grazie ad una numerazione progressiva, tali numeri sono scollegati da un ordine cronologico di raccolta, che è ininfluente sull'esito dell'investigazione, coerentemente con quanto sottolineato fino ad ora. Alle singole evidenze sono poi associate delle deduzioni, alcune forti a tal punto da reindirizzare l'indagine stessa, altre che sono le medesime per differenti evidenze, che vanno quindi valutate all'interno di un quadro generale. In qualsiasi caso, il passaggio che porta da evidenza a deduzione necessita di valutazioni tecnico-scientifiche in grado di rendere le affermazioni fatte apodittiche. E' in questo passaggio che l'Ingegneria Forense dimostra di essere una scienza a tutti gli effetti, è qui che sta il fulcro dell'intera indagine. L'insieme di tutte le deduzioni va poi considerato a monte dell'intera investigazione, nella sua totalità, per riuscire ad individuare la direzione verso cui portano tutte le deduzioni, nessuna esclusa, in grado di ricostruire quanto accaduto. Come i singoli pezzi di un puzzle, che acquistano senso solo se posizionati correttamente e solo nella loro globalità.

I casi studiati hanno a che fare con tre incidenti tristemente famosi in questi ultimi

5.1 Introduzione

anni accorsi alla Umbria olii di Spoleto e alla ThyssenKrupp di Torino, seguiti dal Professor Luca Marmo in qualità di consulente tecnico del PM e al Molino Cordero di Fossano come perito del GIP.

5.2 Umbria Olii, Spoleto

5.2.1 L'azienda e il processo produttivo prima dell'incidente

L'Umbria Olii di Spoleto produce olio di oliva edibile mediante la raffinazione di olii d'oliva non edibili di diversa origine, tra cui l'olio di sansa grezzo, con una produttività totale al giorno che può raggiungere le 350 tonnellate. I sottoprodotti della lavorazione sono invece utilizzati per la produzione di prodotti cosmetici. L'azienda occupa un'area suddivisa in reparti a seconda della differente destinazione d'uso:

- reparto di stoccaggio, caratterizzato da due parchi serbatoi, uno all'aperto di 12 serbatoi da 645 m³ l'uno e uno coperto, di 12 serbatoi da 365 m³, disposti, in entrambi, quattro per fila, per un totale di tre file;
- raffineria;
- reparto confezionamento;

- reparto uffici;
- reparto stoccaggio prodotto finito;
- impianto di produzione trucioli di sapone;
- reparto stoccaggio sottoprodotti;
- reparto stoccaggio imballaggi

A seguito si descrive in estrema sintesi il processo comunemente adottato per la raffinazione dell'olio di oliva.

Con il processo di raffinazione si vogliono eliminare quei componenti indesiderabili che possono influenzare le caratteristiche organolettiche, nutrizionali e dietetiche dell'olio quali per esempio: fosfatidi, steroli, tocoferoli (vitamina E), idrocarburi, alcoli alifatici superiori esterificati ad acidi grassi (cere), alcoli triterpenici, pigmenti (clorofilla) e vitamine (carotene), cercando di lasciare il più possibile inalterate le sostanze utili e senza modificare la struttura originaria del prodotto (trigliceridi).

La raffinazione dell'olio di oliva può essere di due tipi a seconda della modalità con la quale vengono eliminati gli acidi grassi:

- raffinazione *chimica*: gli acidi grassi sono eliminati con *soluzione alcalina di NaOH*, si parla di neutralizzazione, che consente pure di togliere la maggior parte dei fosfatidi e altri componenti indesiderabili minori;
- raffinazione *fisica*: gli acidi grassi vengono tolti mediante *stripping con vapore*, si parla di degommazione, che è meno indicata per trattare olii grezzi di scarsa qualità.

Step della raffinazione in estrema sintesi:

1. *Degommazione*. Si tratta l'olio grezzo con acqua calda (60-80°C) + acidi diluiti (fosforico o citrico) + NaOH diluito (a volte): si ottengono delle gomme agglomerate, per eliminazione dei fosfatidi, che verranno separate dall'olio per centrifugazione. Primo step che vale per entrambi i tipi di raffinazione. In quella fisica, visto che si vogliono eliminare con questo tutti i fosfatidi, anche quelli non idratibili, si precede la degommazione con un *trattamento ad alta temperatura* (90°C) con acido fosforico (in genere 0,1-0,3% di una soluzione all'85%).
2. *Neutralizzazione*. Nel caso di raffinazione chimica, prevede il trattamento con soda caustica (8-24% NaOH) per trasformare gli acidi grassi liberi e i fosfatidi non idratibili in sali di sodio solubili (reazione

di saponificazione), tale sottoprodotto non può essere utilizzato per sapone di alta qualità. Da tale pasta saponosa vanno recuperati gli acidi grassi attraverso acidificazione e purificazione per distillazione.

3. *Decolorazione.* Si rimuovono i pigmenti coloranti (carotene, clorofilla) presenti nell'olio mediante adsorbimento su terre diatomee (decoloranti), quelle utilizzate solitamente sono costituite da silicati di alluminio con contenuti relativamente alti di Mg, Ca, Fe, per ovviare alla presenza di metalli le terre vengono attivate con trattamento acido, con acido solforico o cloridrico. Tale step è caratterizzato da diverse operazioni, da tener presente che le *terre esauste*, dato il loro elevato contenuto di grassi (20-40%) in particolare di olii polinsaturi, costituiscono un *rifiuto pericoloso* perchè possono dare luogo a fenomeni di autocombustione.
4. *Deodorazione.* E' l'ultimo step che prevede la distillazione in corrente di vapore, sottovuoto e a elevata temperatura, durante la quale gli acidi grassi liberi e i composti volatili responsabili dell'odore sono rimossi per ottenere un olio insapore e inodore.

5.2.2 Lo sviluppo dell'indagine tecnica

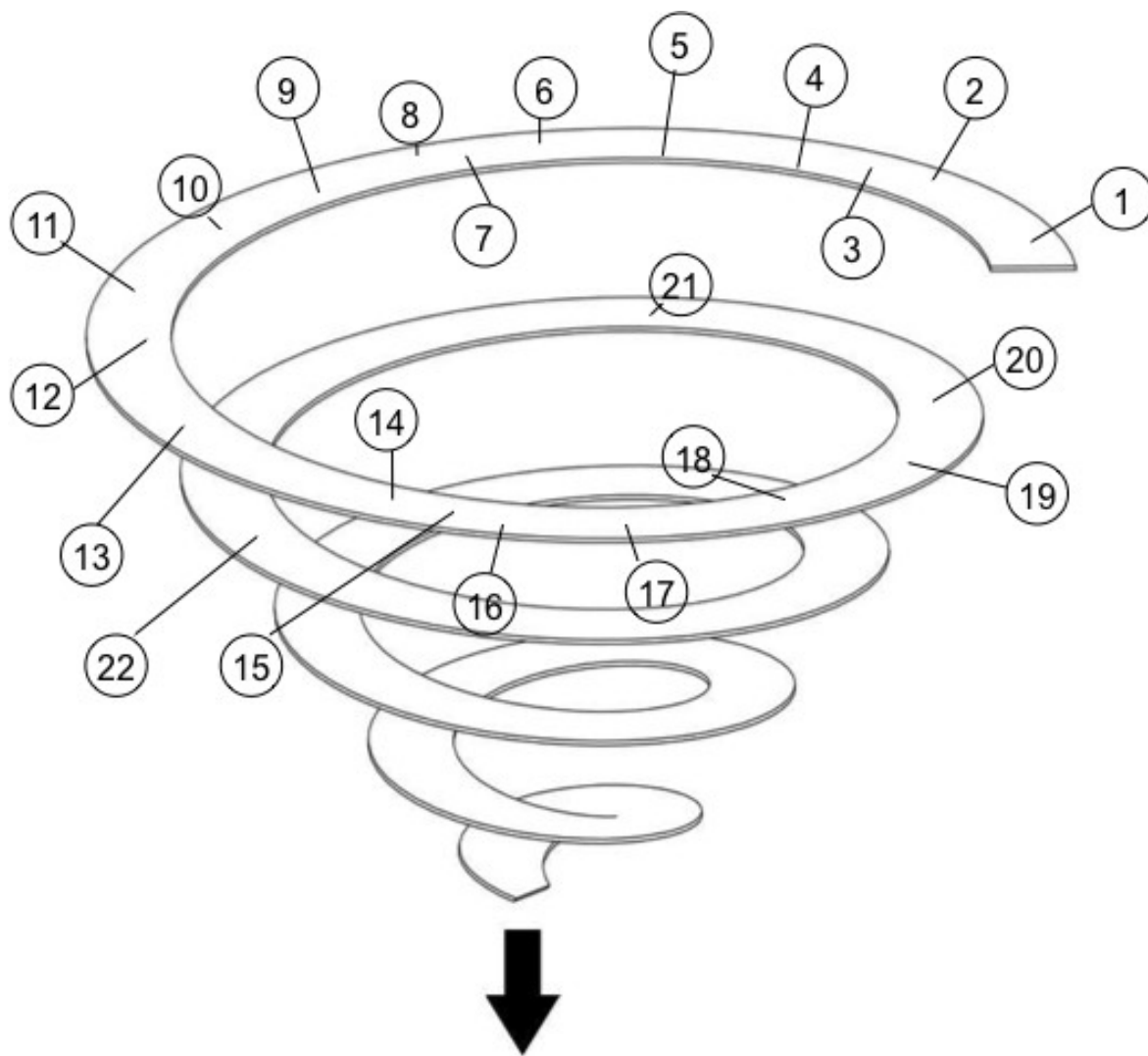
Cosa è già noto

Il giorno 25 Novembre 2006 si è verificata un'esplosione ed un conseguente incendio all'interno dello stabilimento che raffina l'olio di oliva, in particolare nella zona all'aperto dove sono stoccati i serbatoi. Al momento dell'incidente erano in corso delle operazioni di modifica dei serbatoi del parco esterno, eseguite da quattro tecnici di una ditta esterna, che consistevano nell'istallazione alla sommità di tali serbatoi di staffe in profilato d'acciaio, mediante saldatura, alle quali sarebbero state successivamente vincolate delle passerelle d'ispezione, anch'esse d'acciaio. I quattro operai sono morti.

Obiettivi iniziali dell'indagine:

1. Individuare cause e dinamica dell'esplosione;
2. Individuare le cause che hanno portato alla formazione di una miscela esplosiva all'interno del/ dei serbatoi;
3. Individuare le cause dell'innesco.

5.2.2.1 La raccolta e l'analisi delle evidenze



1. Saldatura in corso (*testimonianze* e visione dei *video* di sorveglianza) ;
2. Grazie ai filmati di sorveglianza si vede abbastanza chiaramente la dinamica dell'incidente, in particolare l'esplosione del Serbatoio 95 e la sua proiezione verso l'alto (*video* sorveglianza);
3. Vari serbatoi interessati da operazioni di saldatura il giorno dell'incidente (*testimonianze* e visione dei *video* di sorveglianza);
4. Configurazione reparto stoccaggio serbatoi (*planimetrie*) – deduzione: tutti i serbatoi del parco esterno sono uguali, quindi saranno possibili rilievi di comparazione;
5. Caratteristiche costruttive serbatoi (*disegni progetto*) – deduzione: non sono stati progettati prevedendo una possibile sovrappressione interna, il punto di maggiore fragilità è dovuto ad un unico cordone di saldatura fondo- virgola;
6. Contenuto serbatoi qualitativo, olio sansa greggio (*testimonianze*) – deduzione: possibile presenza di un solvente, in particolare esano, utilizzato per estarre l'olio di sansa dalla sansa d'oliva, sostenuta da

letteratura internazionale [7]

7. Contenuto serbatoi quantitativo (*sistema Visual vega, che ha richiesto una consulenza informatica per essere decodificato*) – deduzione: quantità olio senza presente nel Serbatoio 95 e individuazione carichi e scarichi serbatoi nei gg antecedenti l'incidente registrati dal software;
8. Movimentazione olio all'interno dei serbatoi (*bolle di spedizioni e documenti vari*) – deduzione: si individuano destinatari di prodotti e quantitativi trasportati ;
9. Processo produttivo (*sito internet aziendale e testimonianze*) – deduzione: è plausibile considerare che fosse prassi insufflare aria per miscelare i prodotti all'interno del serbatoio con un'inevitabile azione di stripping, vedi infatti la presenza di serpentine di vapore necessarie per il riscaldamento, spesso i prodotti dentro ai serbatoi solidificano, causa temperatura esterna, diventando non pompabili a temperatura ambiente, inoltre dal verbale nei NAS relativo al campionamento presso AO emerge l'utilizzo di riscaldamento da serpentine+insufflaggio aria da pompa
10. Danni dell'intero parco stoccaggio (*foto aeree, rilievi geometrici, foto*)
11. Individuazione disposizione passerelle sui 12 serbatoi parco esterno (*foto aeree, rilievi geometrici, foto*)

12. Rinvenimento di saldatrice, mola elettrica, elettrodi per saldare (*evidenze fisiche*)
13. Danni e caratteristiche Serbatoio 93: rinvenuto a 80 m dalla posizione iniziale, con passo d'uomo aperto, tranciato sul fondo, valvole di intercettazione delle linee di carico-scarico al fondo in posizione di chiusura (*foto, rilievi geometrici, rilievi dimensionali*)
14. Danni e caratteristiche Serbatoio 94: rinvenuto a circa 60 metri di distanza rispetto alla sua posizione originaria, passo d'uomo chiuso e con una delle staffe di sostegno già saldate, tranciato sul fondo, valvole di intercettazione delle linee di carico-scarico al fondo, in posizione di chiusura (*foto, rilievi geometrici, rilievi dimensionali*)
15. Danni e caratteristiche Serbatoio 95: a seguito dell'esplosione, risulta essere stato lanciato verso l'alto, per ricadere a distanza di pochi metri dalla posizione iniziale, tranciato sul fondo, valvola di intercettazione del vapore di riscaldamento chiusa (*foto, rilievi geometrici, rilievi dimensionali*)
16. Serpentine del vapore del Serbatoio 95 scollegate (*testimonianze*) - deduzione: non esiste prova oggettiva a sostegno del fatto che il vapore di surriscaldamento possa essere stata la causa del riscaldamento e successiva formazione di una mix infiammabile all'interno del serbatoio
17. Cordone di saldatura su serbatoio 95 caratterizzato da una macchia termica di 1 cm di diametro nella parte interna (*rilievi dimensionali*)

di confronto e foto 1)

18. Salma rinvenuta con pinza della saldatrice in mano
19. Temperature raggiunte in Spoleto nel mese di novembre, in particolare il 25/11/2006, temp min 7,7°C-media 11,6°C-max 18,2°C
20. Sequestro e prelievo di campioni olio: circa 200 in totale, sia presso lo stabilimento Umbria Olii (in ingresso e in uscita) che provenienti dallo stesso ma presso altre ditte (Adria Oli, Oli Paoli, Caldini Guido). I prelievi sono stati effettuati secondo la normativa di riferimento: UNI EN ISO 5555 e EN ISO 661 in particolare presso AO.

Obiettivo: individuare la concentrazione di esano presente nella miscela (contenuta nei serbatoi del parco esterno) e il flash point di tale miscela.

21. Prelievo di campione di lamiera dal Serbatoio 95 attorno alla macchia termica e prelievo di lastra intatta del tetto

Obiettivo: individuare la temperatura massima raggiunta dalla superficie interna del serbatoio nella zona della saldatura, basandosi sul colore della macchia termica individuata.

22. Prelievo di campione comparativo di lamiera dal Serbatoio 94 attorno alla staffatura già installata.

5.2 Umbria Olii, Spoleto

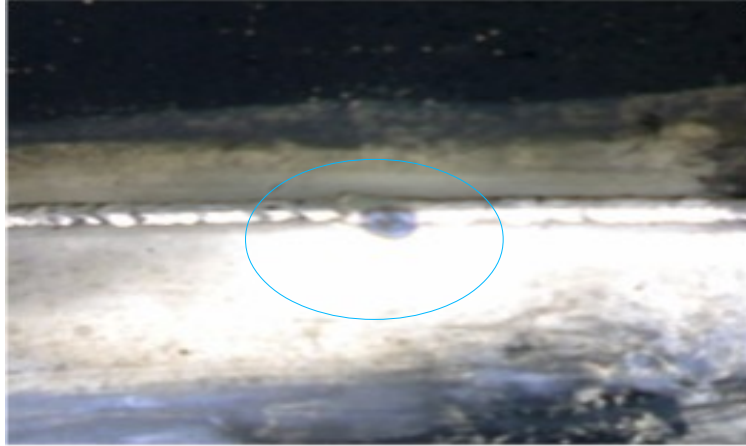


Foto 1. Dettaglio di macchia termica sul cordone di saldatura nella parete interna del Serbatoio 95

Foto 2. Sequenza di frame tratta dalle telecamere di video sorveglianza dove si vede la dinamica della prima esplosione, che ha interessato il Serbatoio 95, da Umbria Olii, Spoleto



5.2 Umbria Olii, Spoleto



5.2 Umbria Olii, Spoleto





Foto 3. Proiezione Serbatoio 94 a seguito di esplosione immortalata dai VV.F. intenti a spegnere l'incendio seguito all'esplosione del Serbatoio 95



Foto 4. Proiezione del Serbatoio 93 a seguito di esplosione immortalata dai VV.F. intenti a spegnere l'incendio seguito all'esplosione del Serbatoio 95

- Analisi campioni di olio, solo quelli recanti dicitura “olio di sansa”, per un totale di circa 71.

Procedimento di ANALISI: in laboratorio certificato, secondo la norma UNI CEI EN ISO 17025:2005 ⁽⁴⁾, che impone non solo di garantire la completa tracciabilità di tutti i campioni ma anche di certificare lo stato del campione al momento del ricevimento da parte del laboratorio. Le procedure adottate per le analisi rispettano la normativa di riferimento: UNI EN ISO 9832:2004 ⁽⁵⁾ e ISO 3679: 2004 ⁽⁶⁾

Informazioni ottenute: circa un terzo presenta punto di infiammabilità (PI) anormalmente basso per degli olii di sansa: compresi tra 18,5°C e 84°C. Di questi, una quindicina con un PI inferiore ai 65°C (si tratta cioè di “Liquidi infiammabili” (Categoria B) ai sensi del D.M. 31/07/1934) e uno addirittura presenta un PI= 18,5°C (ai sensi del citato Decreto, risulta di Categoria A, avendo un PI < 21°: “Liquidi i cui vapori possono dare luogo a scoppio”).

- Analisi sul campione di lamiera intatta del tetto del Serbatoio n°95

4“Requisiti generali per la competenza di laboratori di prova e taratura”

5Oli e grassi animali e vegetali- determinazione del contenuto in esano tecnico residuo

6Determinazione del punto di infiammabilità-metodo rapido dell'equilibrio in vaso chiuso- attualmente UNI EN ISO 3679:2005

Procedimento di ANALISI: si riproduce in forno il fenomeno di riscaldamento del serbatoio, per avere una stima necessariamente approssimativa, visto che non sono noti i tempi di esposizione, del massimo riscaldamento raggiunto dall'acciaio. Si procede inserendo il campione di lamiera nel forno già riscaldato, alla temperatura dell'esperimento, aspettando che raggiunga l'equilibrio termico, per poi lasciarlo all'interno 10', per un tempo totale di 20' di permanenza nel forno. Si procede ad effettuare diversi esperimenti per differenti temperature, comprese tra i 400°C e 800°C, con un incremento per ogni inserimento, di 50°C.

Si confronta poi il colore formatosi, con il colore delle macchie termiche individuate dalle saldature sui Serbatoi n° 94 e n° 95. Pur non essendo tale esame certificato, i risultati ottenuti sono avvalorati da dati presenti in letteratura[8],[9],[10], si riesce quindi ad individuare con elevato grado di probabilità la temperatura massima raggiunta durante la saldatura.

Informazioni ottenute: temperatura massima raggiunta dalle macchia termiche e quindi dalla superficie interna del serbatoio di almeno 750°C

5.2.2.2 Il passaggio da evidenze a deduzioni

Le informazioni raccolte di per sé hanno poco valore, solo dopo averle valutate diventano basi di deduzioni. E' in questo passaggio, delicato, che la bravura di un

consulente tecnico fa la differenza.

- Dai certificati di analisi dei campioni emergono informazioni importanti relative alle caratteristiche del singolo campione quando arriva al laboratorio (nel rispetto della norma UNI CEI EN ISO 17025:2005 già citata) e cioè il tipo sigillo, e tutte le informazioni relative al suo trasporto: il numero della bolla di accompagnamento, la targa dell'autobotte, il destinatario, la data della consegna. Tra tutti i campioni analizzati se ne individuano due in particolare, n° 3997 e n°3993, con sigillo a ceralacca della UO, che sono rappresentativi del contenuto del serbatoio 95 i gg antecedenti l'incidente. Si effettua quindi un controllo incrociato con le bolle di trasporto sequestrate e la movimentazione dell'olio registrata nelle date indicate nel serbatoio 95 dal Sistema Visual Vega. Questo controllo ha evidenziato congruenza di dati, che permette di affermare con certezza che tali campioni siano effettivamente rappresentativi del Serbatoio 95 e grazie alle analisi si conoscono i parametri fisici e chimici di tale contenuto:

Campione n°3997: - prelevato dal serb.95 il 23/11/2006

- PI= 32,5°C
- contiene esano e isomeri (compreso il metilciclopentano) in misura 9622 mg/kg

Campione n°3993: - prelevato dal Serb.95 il 24/11/2006 (giorno prima dell'incidente)

- PI= 29°C

– contiene esano e isomeri (compreso il metilciclopentano) in misura **9516 mg/Kg**

- Le operazioni di saldatura è risaputo essere intrinsecamente pericolose, tant'è che sono regolate da ART.250 del D.P.R. 547/55 che le vieta su recipienti chiusi. I test effettuati sulle lamiere hanno poi permesso di affermare con buona affidabilità che la superficie interna del serbatoio nella zona della saldatura ha raggiunto una temperatura di almeno 750°C. La norma API 2216 quantifica la differenza tra la temperatura di una superficie calda e la temperatura di autoignizione in 200°C, necessaria perchè ci possa essere innesco. Se si considera che la temperatura di autoaccensione dell'esano è di 220°C, la differenza è di 530°C, bel oltre il limite individuato. No solo, in letteratura [11] sono rappresentate le temperature di ignizione dell'esano per differenti tipologie di superfici calde, in funzione del raggio di tale sorgente. Si ricava che per “heated rods” di 1 cm di diametro, risultano già efficaci temperature attorno ai 670°C. Le circostanze sono diverse rispetto al caso specifico e difficilmente confrontabili, però questo è un limite superiore che fornisce comunque un riferimento valido. Tutte queste considerazioni permettono di reputare plausibile che l'ignizione sia stata generata dalla superficie calda, generatasi a seguito della saldatura. Tutto ciò permette di avvalorare quindi un'ipotesi relativa alla *causa di innesco* del serbatoio 95.

- E' ben noto in letteratura che per effetto dell'irraggiamento solare, i serbatoi siano in grado di raggiungere temperature dell'ordine dei 30°C. [In “Understanding explosions”, D.Crowl, 2003, si evidenzia: *“Il Dipartimento dei Trasporti degli Stati Uniti (DOT) definisce un liquido infiammabile se il suo flashpoint non è superiore a 141°F (60,5°C) (DOT, 2000). In pratica, lo spazio di testa di serbatoi soggetti alla radiazione solare può facilmente raggiungere 100°F (37,8°C) e, conseguentemente, il valore stabilito dal DOT è pertanto più realistico dei 100°F (37,8°C) stabiliti dalla NFPA, Agenzia Nazionale Protezione Incendi degli Stati Uniti e certamente non è eccessivamente conservativo.”*] Il calcolo dell'effetto dell'irraggiamento su un serbatoio con medesime caratteristiche di quello esploso e in condizioni in realtà sfavorevoli rispetto a quelle del giorno dell'incidente, ha dimostrato come il solo irraggiamento riesca a produrre un aumento di temperatura del serbatoio e dell'aria contenuta ben superiore ai 30°C. Va tenuto presente inoltre che il valore di Flash Point individuato sperimentalmente per la miscela, è sufficiente che venga raggiunto unicamente dallo spazio di testa e da una piccola quantità di liquido e neppure nel valore esatto individuato. A pg.193 di “Ignition Handbook” di Babrauskas, si dimostra come i valori di Flash Point determinati sperimentalmente in piccole apparecchiature, siano affidabili in apparecchiature industriali. Tali risultati però, nella realtà, vanno considerati non per il valore specifico di Falsh Point che indicano, ma per il campo di temperature cui appartiene tale valore, che può oscillare anche di 10°C. Tutto ciò, permette di considerare il surriscaldamento per irraggiamento solare la possibile *causa della formazione di una miscela infiammabile* di vapori di esano e aria,

all'interno del serbatoio 95.

Tabella 1.5. Evidenze, che mantengono la numerazione utilizzata per indicarle sulla Spirale e corrispondenti deduzioni

Evidenze	Deduzioni
<ul style="list-style-type: none"> • Presenza di esano all'interno del serbatoio (da 6, da esito analisi per concentrazione in mix, da controllo incrociato 7 e 8); • Flash point della mix pari a 29°C (da esito analisi); • L'aumento della temperatura all'interno del serbatoio per il solo irraggiamento può raggiungere i 30°C in un giorno di clima sfavorevole (da calcolo effetto irraggiamento sulla lamiera del serbatoio riferito a 19 e informazioni presenti in letteratura); 	<p>Formazione di una <i>mix infiammabile</i> all'interno del serbatoio N.95 è riconducibile al surriscaldamento per <u>irraggiamento solare</u></p>
<ul style="list-style-type: none"> • La temperatura effettivamente raggiunta sulla superficie della lastra è di almeno 750°C (da prove su lamiera); • La differenza tra temperatura superficie calda e di autoignizione dell'esano è pari a 530°C, parecchio superiore alla soglia necessaria perchè ci possa essere innesco, pari a 200°C, fissata da API 2216; 	<p>La <i>causa dell'innesco</i> è riconducibile alla <u>superficie calda</u> formatasi a seguito della saldatura</p>

<ul style="list-style-type: none">• In letteratura [11] si individua un limite superiore di riferimento interessante, pari a 670°C, quale valore di temperatura per cui una macchia termica di 1 cm di diametro riesca ad indurre l'autoaccensione dell'esano;• Viene rinvenuta una salma con la pinza della saldatrice ancora in mano (da 18);	
---	--

5.2.2.3 La ricostruzione della dinamica incidentale

Sabato 25 novembre, verso tarda mattina, tre tecnici della ditta esterna (ditta Manili) incaricata dei lavori di ammodernamento dei serbatoi, completano la saldatura di una staffa di supporto di una passerella sul bordo del serbatoio N°94. Le temperature raggiunte dalla lamiera, nella zona dei due cordoni di saldatura ($\geq 700^{\circ}\text{C}$), testimoniano che all'interno del serbatoio N° 94 non vi era un'atmosfera esplosiva.

Terminata di saldare la prima staffa sul serbatoio N°94 (successivamente avrebbero dovuto saldarne una seconda), i tecnici si spostano sul tetto del serbatoio N°95. Nel

frattempo arriva sul posto il datore di lavoro, il signor Manili. Non appena il saldatore inizia l'operazione, si ha una deflagrazione della miscela infiammabile contenuta all'interno di detto serbatoio, che provoca il tranciamento del cordone di saldatura tra la base dello stesso e la parete cilindrica, il sollevamento di una decina di metri di questa e la fuoriuscita alla base dell'olio in fiamme e del *Flash Fire* generato dalla miscela dei vapori deflagrati. Purtroppo per i quattro tecnici non c'è stato niente da fare: due son ricaduti ai piedi del serbatoio mentre gli altri due sono stati proiettati poco oltre il piano di cemento delimitante il parco serbatoi.

Dopo circa un'ora dalla deflagrazione avvenuta all'interno del serbatoio N° 95, si assiste ad una deflagrazione all'interno del serbatoio N° 94. La miscela infiammabile all'interno di questo si è formata per effetto del riscaldamento dell'olio provocato dall'incendio esterno. A seguito di questa deflagrazione si verifica il tranciamento alla base del cordone di saldatura e la proiezione del serbatoio N° 94 in direzione Est per circa 60 m. Più precisamente il manufatto ha sorvolato tutto il parco serbatoi ed è atterrato in prossimità dell'impianto di trattamento acque. Ovviamente il distacco del fondo del serbatoio ha provocato la fuoriuscita di un nuovo *Flash Fire* e di olio in fiamme che ha contribuito ad alimentare l'incendio in corso.

Analogamente a quanto avvenuto per il serbatoio N° 94 , pure per il serbatoio N° 93 si assiste a:

- riscaldamento dell'olio di sansa per effetto dell'incendio esterno;
- produzione di una miscela gassosa infiammabile all'interno del serbatoio;
- deflagrazione all'interno con distacco dalla base della parte cilindrica;

- proiezione di questa in direzione Nord per circa 80 m e atterraggio sul tetto del reparto confezionamento.

Tutto con conseguente fuoriuscita di un *Flash Fire* e di olio in fiamme che alimenta l'incendio e le cui fiamme coinvolgono pure i serbatoi del parco serbatoi coperto, con ulteriore sversamento d'olio ed una continua ed ulteriore alimentazione dell'incendio.

Si precisa che gli eventi di deflagrazione di cui sopra sono imputabili al contenuto significativo di solventi (esano più i suoi isomeri) presente nell'olio di sansa immagazzinato. È stato appurato che numerose partite di olio di sansa acquistate dalla Umbria Olii non solo pochi giorni prima del sinistro, ma anche 6-10 mesi prima avevano un contenuto in solventi elevato.

5.2.2.4 Aspetti emersi dall'indagine

Questa indagine, così articolata, diventa spunto per diverse considerazioni, sia in merito alle mancanze riscontrate, non poche, nei metodi di prova standard, sia per l'efficacia di alcune scelte adottate. Quanto emerso può essere riassunto come segue.

- Attualmente non esistono metodi di prova standard per la misura della temperatura di accensione per esposizione a superficie calda. A questo si è ovviato rifacendosi alla norma API 2216 e alla letteratura [11] per una stima

della temperatura che una macchia termica, con determinata forma e diametro, è in grado di indurre. Il valore ricavato, pur ragionevole, presenta però un grado di incertezza dato dalle differenze con il caso specifico, che ne rendono difficile il confronto.

- Non esistono metodi di prova per individuare il surriscaldamento prodotto su una superficie dall'operazione di saldatura. Tale fatto è abbastanza curioso sia per la pericolosità intrinseca riconosciuta di tale operazione, regolata dall'ART.250 del D.P.R. 547/55 e sia perchè la saldatura trova utilizzo in svariati settori. Esistono attualmente circa 485 norme tecniche che si limitano però a definire:
 - i materiali di apporto per la saldatura
 - le tecniche di controllo e valutazione della modalità con cui è stata effettuata
 - criteri e raccomandazioni
 - il personale qualificato per poter compiere questa operazione
 - aspetti di sicurezza e salute che sono esclusivamente legati al tasso di emissioni di fumi che la saldatura produce

A tale mancanza si è ovviato con un esame non certificato: il riscaldamento in forno a differenti temperature di campioni della lastra del serbatoio 95, per

cercare di riprodurre il riscaldamento indotto dalla saldatura. Pur avendo ottenuto risultati sostenuti da dati presenti in letteratura, è una prova contestabile in ambito giudiziario, visto che il tempo di esposizione al calore è certamente inferiore ai 10 minuti considerati per il test, così come la modalità di innalzamento della temperatura.

- Manca una norma tecnica per il calcolo dell'effetto dell'irraggiamento su serbatoi di stoccaggio all'aperto o su autobotti.
- Il metodo individuato e scelto per il calcolo del Flash Point del contenuto dei serbatoi rispetta la ISO 3679:2004, attualmente UNI EN 3679:2005. Il principio alla base di tutti i metodi vigenti è di inserire il campione di liquido in un contenitore e di portarlo alla temperatura desiderata, provando ad accenderlo: se brucia, si prova ad accenderlo ad una temperatura inferiore, fino ad individuare quella per cui non si ha più combustione, se non brucia, si alza la temperatura fino a trovare il punto di infiammabilità cercato. Si parla quindi di vaso aperto o chiuso a seconda che il contenitore sia a contatto diretto con l'aria ambiente oppure no. Quello a vaso chiuso, che è stato scelto, individua valori generalmente più bassi dell'altro, evitando il rischio di sottostima, quindi preferibile. La normativa vigente individua inoltre due differenti tipologie di metodo di calcolo di tipo a vaso chiuso, che si

distinguono in metodi all'equilibrio (che presumono che i vapori abbiano raggiunto l'equilibrio termino quando si avvicina la sorgente di accensione) oppure non equilibrio. La scelta fatta è da considerare valida, tra le varie possibilità, in quanto prevede la determinazione del Flash Point con un metodo a vaso chiuso all'equilibrio, analisi tra l'altro effettuata in un laboratorio accreditato, cioè rispettante la UNI CEI EN ISO 17025:2005.

- Per la determinazione della composizione del contenuto dei serbatoi, in particolare del contenuto di esano presente, si è scelto l'unico metodo di prova standardizzato per gli oli e grassi di origine animale e vegetale, la UNI EN ISO 9832:2004. Optare per un metodo certificato è sempre consigliabile.

5.3 ThyssenKrupp, Torino

5.3.1 L'azienda e il processo produttivo prima dell'incidente.

La ThyssenKrupp di Torino è un'azienda nella quale viene effettuata la laminazione a freddo, un'operazione che consente di diminuire lo spessore di lamiere metalliche, per deformazione plastica, ad una temperatura di poco superiore a quella ambiente, con lo scopo di ottenere nastri di lamiera con larghezza dell'ordine di 1-1.5 m e lunghezza anche superiore al migliaio di metri, che verranno quindi movimentati sotto forma di coils, da svolgere ogni qualvolta si debba effettuare una lavorazione.

Il modello di laminatoio utilizzato è lo Sendzimir, dotato di un sistema di cilindri portanti che consente elevate velocità di laminazione a freddo e forti pressioni, dove i cilindri di lavoro sono molto piccoli e sostenuti ciascuno da nove cilindri portanti, che individuano quella che viene definita "gabbia".

La descrizione del processo produttivo si concentra in particolare sulla Linea n°5, ultima della produzione, di *ricottura* e *decapaggio*, in quanto quella interessata dall'evento incidentale. Tale linea riceve i nastri di acciaio provenienti dalla laminazione a freddo, dove viene usato come liquido di raffreddamento e

lubrificazione un olio minerale con caratteristiche del tutto simili a quelle di un kerosene. Dopo aver subito laminazione, i nastri vengono avvolti su un aspo avvolgitore interponendo tra le spire un foglio di carta in modo da evitare la possibilità di graffi sulla superficie del nastro, che deve già avere le caratteristiche di finitura del prodotto commerciale. Le bobine quando arrivano alla Linea n°5 vengono quindi svolte, riavvolgendo contemporaneamente la carta messa a protezione della superficie attraverso un aspo avvolgitore, così da processare il solo nastro d'acciaio. I trattamenti di ricottura e decapaggio devono essere necessariamente continui, con interruzioni programmate per la manutenzione, il nastro deve infatti rimanere all'interno dei forni, ad alta temperatura e alle vasche nelle quale viene sottoposto ad attacco acido, per un tempo ben preciso, altrimenti si rischia di danneggiare il materiale, come avviene per esempio in caso di arresto della linea. Arrivando il nastro in linea sotto forma di coils, di lunghezza definita, le sezioni di entrata e di uscita funzionano inevitabilmente in discontinuo, sono quindi inserite in conferimento ed in prelievo due zone definite di "accumulo" per collegarle alla sezione di trattamento, che riesce così a lavorare in continuo, come necessario. Tali sezioni sono concepite in modo tale da realizzare una zona "a fisarmonica", dove mediante un carro mobile si realizzano delle ampie spire di nastro che possono essere allungate (fase di accumulo) o accorciate all'occorrenza, in modo tale da mantenere sempre a regime la sezione intermedia di trattamento.

La Linea n°5 è costituita quindi da:

- Sezione di entrata;
- Sezione di accumulo in ingresso;

5.3 ThyssenKrupp, Torino

- Sezione trattamenti: forno, raffreddamento e decapaggio;
- Sezione di accumulo in uscita;
- Sezione di uscita.

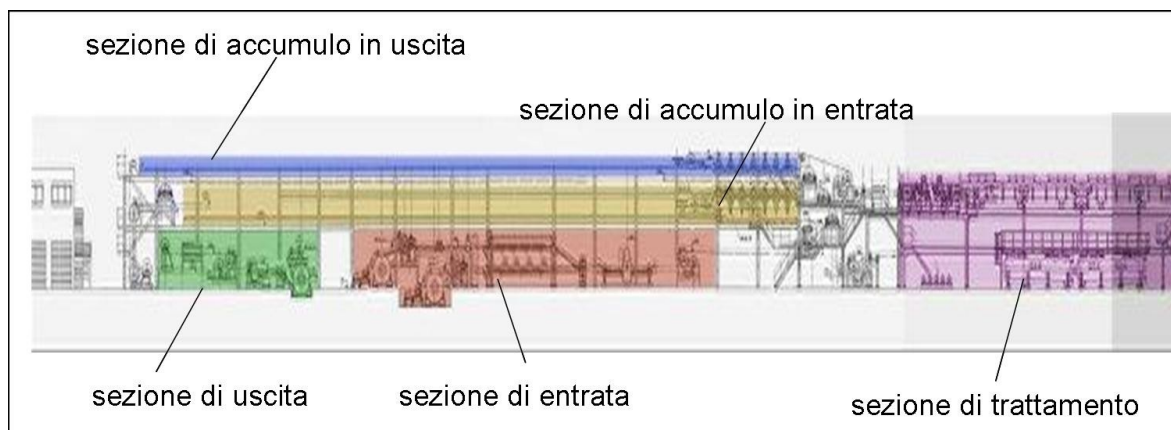


Figura 5.1 La linea 5

Vista la complessità dell'impianto, si procede a descrivere più in dettaglio la sola sezione di ingresso, dove si è verificato l'incidente.

Sezione di entrata

La sezione di entrata svolge ed invia ai trattamenti i rotoli già laminati ed è costituita da due tratti paralleli, sfalsati in direzione assiale e praticamente identici, Aspo1 sopra e Aspo2 sotto, che convergono a monte di una saldatrice che unisce la coda del nastro in linea, svolto da uno dei due Aspi, alla testa di un secondo in entrata, sull'altro Aspo. Così facendo si lavorano in contemporanea due coils e si riduce la fermata della linea, riducendo di conseguenza le dimensioni dei carri di accumulo che garantiscono continuità di trattamento.

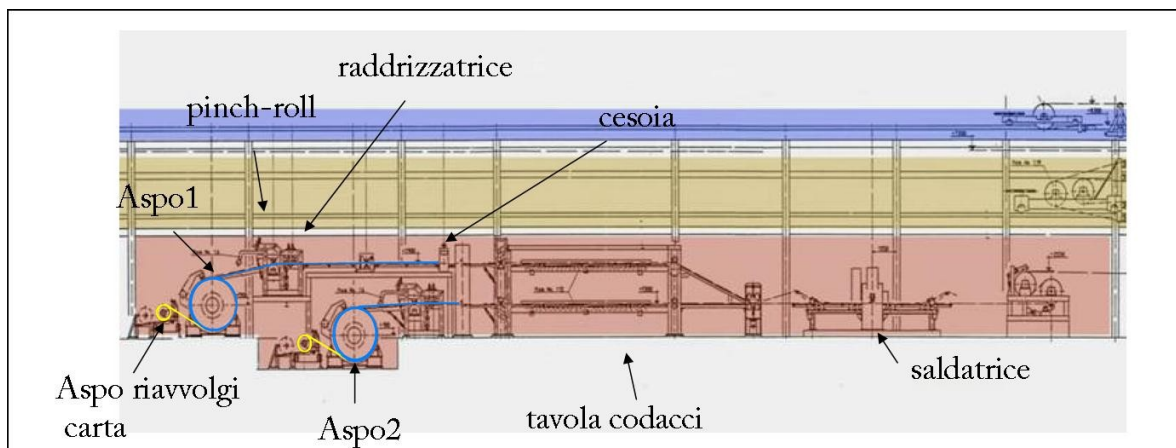


Figura 5.2 Sezione di ingresso linea 5 in dettaglio

Ciascun tratto della zona di ingresso è costituito da:

- Un Aspo svolgitoro munito di rullo d'introduzione, che consente di svolgere le bobine da inviare a processo e di centrarle rispetto alla linea, che lavora combinato con un Aspo riavvolgitoro della carta che ricopre il nastro laminato;
- Una tavola d'imbocco con relativa unghia estraibile e un rullo raddrizzapiega che fanno parte del sistema di attestaggio del nastro, consentono cioè l'imbocco dell'estremità iniziale del nastro in linea;
- Un rullo pinzatore, o di passaggio, che trascina il nastro prima che venga saldato al precedente (n°1);
- Una raddrizzatrice, che spiana la testa del nastro nella fase di introduzione, permettendogli di procedere lungo la linea;
- Un secondo rullo pinzatore, solo sulla linea Aspo 1 (n°2);
- Una cesoia intestatrice, che taglia i "codacci" ossia estremità iniziale e finale della bobina, che non sono state laminate, cioè non sono a spessore;
- Una tavola di evacuazione dei codacci, che rimuove ed impila tutti i codacci tagliati con la cesoia;
- Un altro rullo pinzatore (n°3 per linea Aspo 1 e n°2 per linea Aspo 2)

Tutti questi elementi sono in movimento e vengono azionati da circuiti idraulici costituiti da:

- stazione di pompaggio, unica per tutti i circuiti;
- banco valvole;
- elettrovalvole a due o a tre posizioni;
- tubazioni di raccordo sia flessibili che rigide, di acciaio;
- attuatore finale, cilindro idraulico o motore idraulico.

Il nastro poi prosegue per trascinamento lungo la Linea grazie alla presenza di 5 “briglie di tiro” cioè coppie di rulli morizzate, e cambia direzione, solitamente di 90° grazie a rulli guida, chiamati “folli” in grado pure di centrare il nastro rispetto all'asse macchina, grazie alla possibilità di inclinare l'asse del rullo stesso.

5.3.2 Lo Sviluppo dell'indagine tecnica

Cosa è già noto

La notte tra il 5 e il 6 dicembre 2007, un incendio nella sezione di ingresso della Linea n°5 dello stabilimento ThyssenKrupp di Torino ha provocato inizialmente la morte di un operaio e il ferimento di altri 7 di cui 6 in modo grave (così grave che sono morti dopo pochi giorni). L'unico sopravvissuto, Antonio Boccuzzi, testimone oculare dell'evento, riporta solo lievi ustioni, ed è in grado di fornire informazioni utili relative alla localizzazione del primo focolaio di incendio, al suo sviluppo, a cosa è successo nei momenti immediatamente successivi, informazioni che per essere validate necessitano però di riscontri oggettivi.

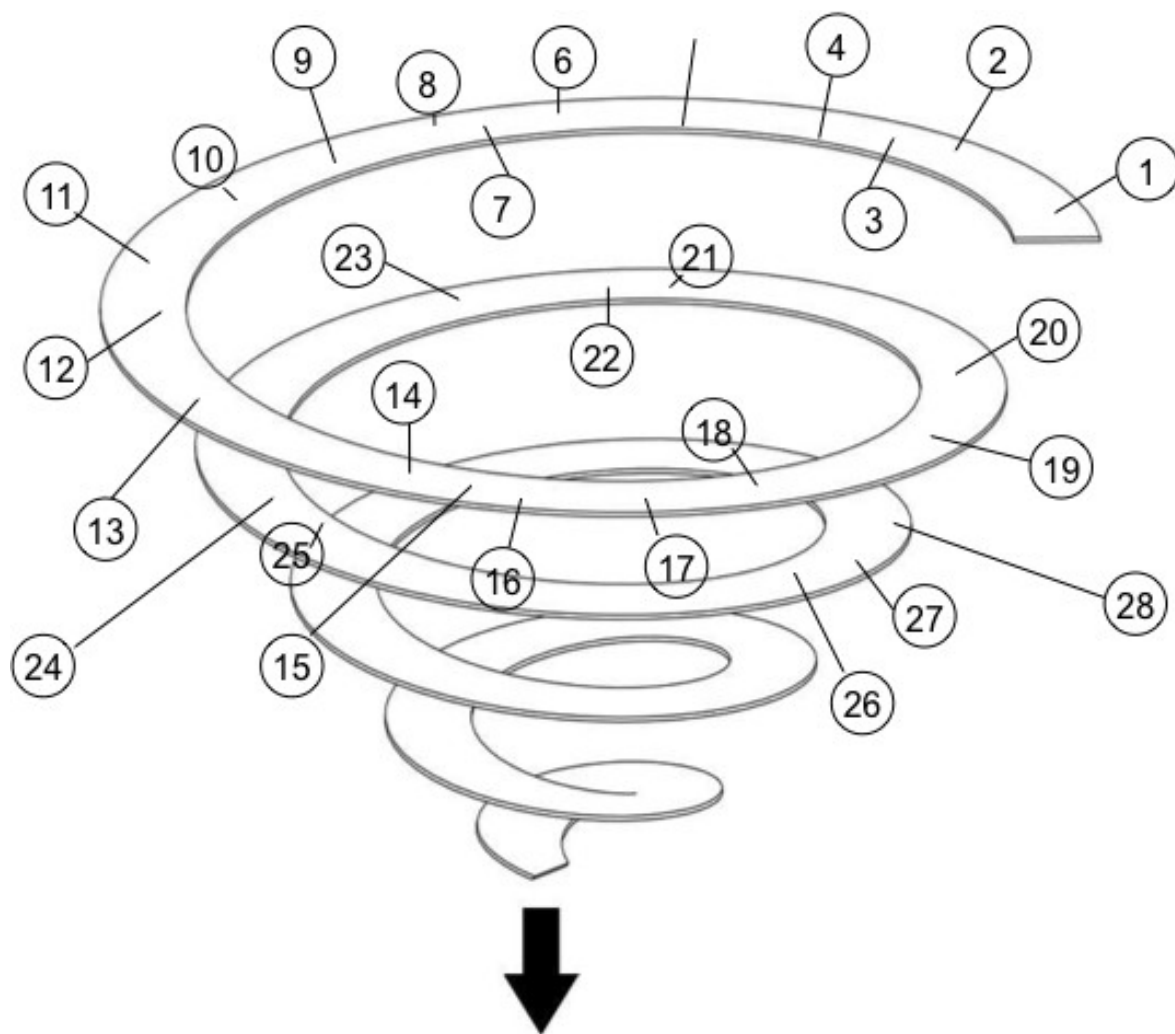
Dalla sua testimonianza emerge che un primo incendio si è sviluppato in prossimità della raddrizzatrice della linea Aspò 2 ma i tentativi di spegnerlo, ad opera sua e dei colleghi con estintori a CO₂ non sono stati efficaci. Nel frattempo le fiamme sono scese interessando la zona sotto la raddrizzatrice, aumentando l'intensità dell'incendio in corso. Per questo motivo, Boccuzzi si è recato verso l'idrante più vicino per collegargli la manichetta che era già svolta ed in mano ad uno dei compagni, pronto per intervenire sulle fiamme. Non c'è stato neppure il tempo di riempire la manichetta di acqua che un rumore sordo accompagnato da un'onda di

fuoco, descritta alta 7 metri, è ricaduta su tutti gli operai, investendoli. La salvezza di Boccuzzi è stata che in prossimità dell'idrante era stato parcheggiato un muletto, che l'ha protetto.

Obiettivi iniziali dell'indagine:

1. Individuazione delle *cause* che hanno provocato l'*innesco* dell'incendio e la sua successiva *propagazione*;
2. Individuazione delle cause del flash fire (onda di fuoco)

5.3.2.1 La raccolta e l'analisi delle evidenze



1. Primo focolaio d'incendio in prossimità della raddrizzatrice dell'Aspo 2 (*testimonianza Boccuzzi e rilievi*)
2. Al momento dell'incendio, nastro sulla linea Aspo1 in svolgimento, cioè in processo, mentre il nastro della linea Aspo 2 in attesa di andare a saldatura (*testimonianza Boccuzzi e record di impianto*)
3. L'esplosione prodotta dall'incendio caratterizzata da un “ rumore sordo quasi come si trattasse più correttamente di un boato tipo quello che si sente all'accensione di uno scaldabagno a gas ma molto più forte” (*testimonianza Boccuzzi*)
4. Alla prima esplosione sono seguite “ altre esplosioni più piccole ed acute, quasi come degli scoppi” (*testimonianza Boccuzzi*)
5. Post esplosione le fiamme si sono propagate come “onda del mare alta 7 metri” (*testimonianza Boccuzzi*) - deduzione: incendio indotto da un qualcosa in pressione
6. Posizione di Boccuzzi, in prossimità dell'idrante situato tra muletto e muro di mattoni (*testimonianza Boccuzzi*)
7. Distanza Boccuzzi- raddrizzatrice Aspo 2 pari a 10.9 m (*rilievi dimensionali*)
8. Individuazione della lancia antincendio che i presenti si apprestavano ad utilizzare in prossimità della raddrizzatrice Aspo 2 (*testimonianza*

Boccuzzi e rilievi)

9. Presenza di carta su tutta la linea, accumulata per terra, attorno a briglie o cinghie, carta che spesso risulta essere unta (*testimonianze e rilievi oggettivi*)
10. Residui carboniosi di carta sui rulli della raddrizzatrice Aspo 2 (*rilievi oggettivi*)
11. Frequenti perdite di olio, sia di laminazione che idraulico, in prox di flessibili, raccordi (*testimonianze operai e dipendenti ditta pulizie supportate da dati di consumo*)
12. Colorazione bordo laterale nastro lato operatore (LO) dovuta ad innalzamento termico (*rilievi oggettivi e foto 5*)
13. Segni su carpenteria da sfregamento del nastro, in particolare nella zona di ingresso (*rilievi oggettivi e foto 6*) - deduzione 5+6: nastro surriscaldato da sfregamento su carpenteria in quanto non centrato
14. Sistema di centraggio manuale del nastro nella zona di svolgimento del nastro;
15. Tredici flessibili dei circuiti di azionamento idraulico collassati, sia relativi all'Aspo 1 che 2 (*rilievi oggettivi*)
16. Nastro fuoriesse dall'ingresso fino a valle della saldatrice, di circa 9 cm (

- rilievi*)
17. Frequenti principi di incendio (*testimonianze supportate da dati ricariche estintori*)
 18. Episodi di rottura di flessibili in pressione con successivo spandimento d'olio risultano documentati (*rapporti di intervento della squadra di emergenza*)
 19. Fiamme estese fino alla muratura in mattoni che delimita il reparto, in particolare più estese lato operatore rispetto al lato motori (*rilievi oggettivi*)
 20. Estintori presenti, 32 portatili e 2 carrellati, tutti a CO₂ (*rilievi oggettivi*)
 21. La pressione idraulica dell'impianto interno allo stabilimento è inefficace alla formazione di schiuma (*da relazione VVF*)
 22. Danni alla linea Aspo 1 tra il rullo deflettore e la tavola codacci (*rilievi oggettivi*)
 23. Danni alla linea Aspo 2 tra l'aspo svolgitore e la tavola codacci (*rilievi oggettivi*)
 24. Danni più rilevanti a carico della raddrizzatrice Aspo 2, in particolare il battuto di cemento alla base è frantumato (*rilievi oggettivi e foto 9*)
 25. Il supporto della raddrizzatrice Aspo 2 è costituito da un profilato di acciaio a “doppia T” (*disegno di progetto, testimonianze, rilievi*) -

5.3 ThyssenKrupp, Torino

deduzione: la forma di tale supporto individua sotto al macchinario un'ampia vasca, di capacità $> 1 \text{ m}^3$ che può diventare luogo di ristagno di olio di laminazione, olio idraulico dovute a perdite nei circuiti

26. Fiamme hanno raggiunto quota +4.50m interessando il carro di accumulo della sezione di ingresso (*rilievi oggettivi*)

27. Intenzione di chiudere lo stabilimento di Torino per spostare la produzione a quello di Terni (*documentazione aziendale, mail interne*)

28. Licenziamenti e trasferimenti in particolare del personale più specializzato (*testimonianze e documenti aziendali*)



Figura 5. Dettaglio della colorazione del bordo laterale del nastro, ThyssenKrupp Torino



Foto 6. Segni su carpenteria da sfregamento, ThyssenKrupp Torino



Foto 7. Dettagli di residui di carta, ThyssenKrupp Torino

5.3 ThyssenKrupp, Torino



Foto 8. Dettagli di flessibili sfilati e collassati, ThyssenKrupp Torino



Foto 9. Battuto di cemento frantumato sotto alla raddrizzatrice Aspo 2 e sostegno a doppia T, ThyssenKrupp Torino

- Analisi degli schemi dei circuiti idraulici

Informazioni ottenute: i circuiti oleodinamici di azionamento della Linea 5 sono sostanzialmente di due tipi, pilotati da elettrovalvole a due o a tre posizioni. I sistemi di arresto di cui dispone la Linea 5 intervengono escludendo unicamente l'alimentazione elettrica alle elettrovalvole: la centrale idraulica rimane attiva e le pompe continuano a fornire la pressione di esercizio a tutte le linee, almeno fino ai banchi valvole, non esiste un sistema di “messa in quiete”.

Le modeste differenze nel funzionamento di queste due tipologie di elettrovalvole si traducono però in una differenza rilevante nei confronti delle possibili dinamiche incidentali prodotte, descritta sommariamente nel seguito.

Circuito pilotato da elettrovalvola *a due posizioni*.

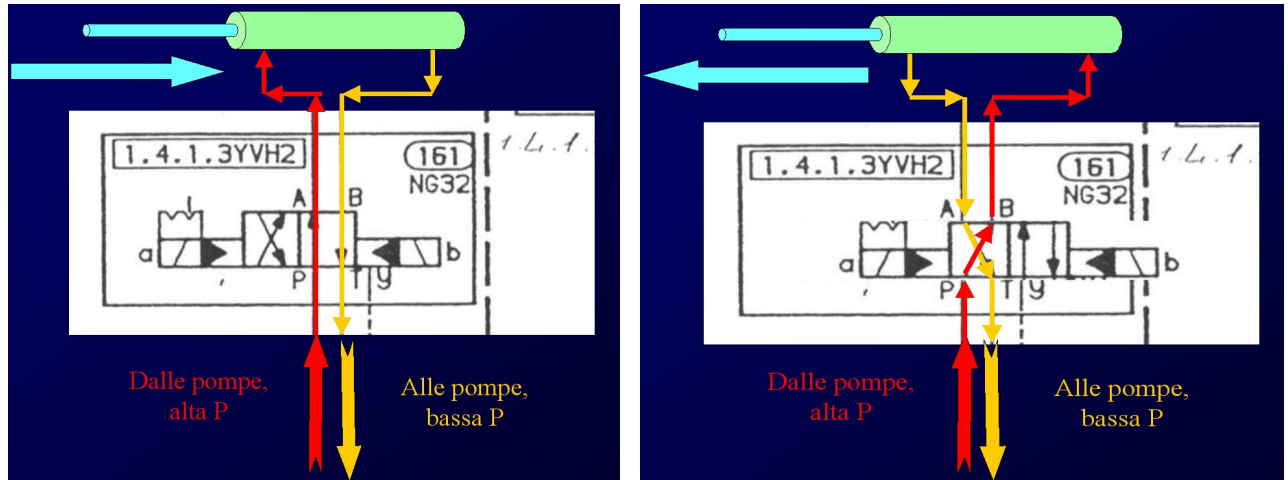


Figura 5.1. Circuito con elettrovalvola a due posizioni, spostamento verso destra e verso sinistra

Da Figura 5.1 si vede come l'elettrovalvola assuma due differenti posizioni, a seconda della direzione di spostamento dell'attuatore, verso destra o sinistra.

Togliendo l'alimentazione elettrica dell'elettrovalvola, il ramo ad alta pressione continua ad essere alimentato dalla mandata della centrale idraulica quindi in caso di collasso di un flessibile, si ha un *getto alimentato* di olio nebulizzato che prosegue fino a che non interviene un evento esterno ad interromperlo, che potrebbe essere l'esaurimento dell'olio della centrale.

Circuito pilotato da elettrovalvola *a tre posizioni*.

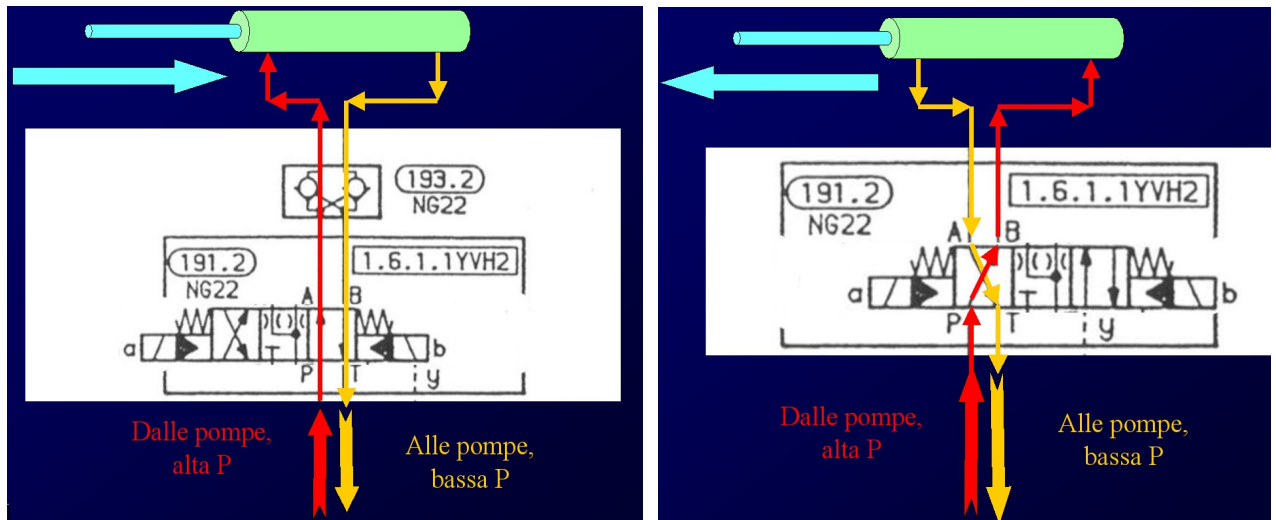


Figura 5.2. Circuito con elettrovalvola a tre posizioni, spostamento verso destra e verso sinistra

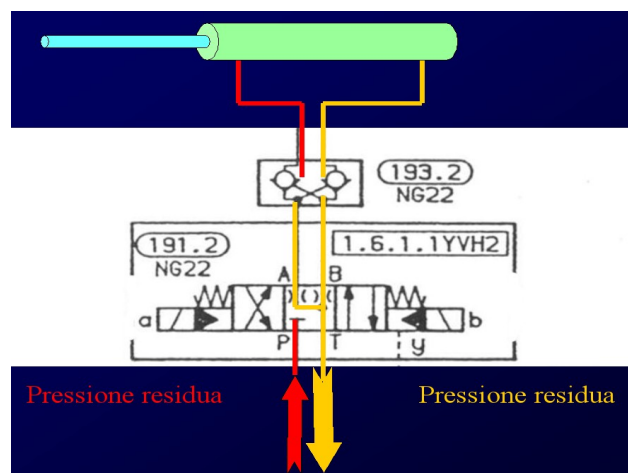


Figura 5.3. Effetto dell'intervento di arresto sulla valvola a tre posizioni, a centro aperto

Nell'elettrovalvola a tre posizioni, la terza posizione è definita quella di “valvola al centro”, corrispondente all'arresto dell'attuatore. In caso di collasso di uno dei due rami, quello che viene nebulizzato è un *getto*

residuo di olio, che è quello rimasto intrappolato, in pressione, al momento dell'arresto del sistema. Essendo queste valvole “mantenute elettricamente”, permangono nella posizione dell'ultima manovra effettuata grazie all'azione di un elettromagnete, ciò permette di dire per certo che alcuni flessibili erano in pressione al momento dell'incidente.

- Analisi storico allarmi

Informazioni ottenute: ricostruzione temporale degli eventi registrati dal Supervisore della Linea 5.

In particolare:

- Riavvio linea: h0.35'.46” con velocità pari a 21m/min;
- Impostazione manuale di diminuzione velocità a 18 m/min: h0.45'.45”

- Ultimo comando impartito dal pulpito: h0.45'.50”;
- Allarme *basso livello di olio* nel serbatoio della centrale oleodinamica: h0.48'.24”;
- Allarme livello minimo di olio: h0.53'.00”;
- Arresto linea per emergenza: h0.53'.10”

5.3.2.2 Il passaggio da evidenze a deduzioni

Le informazioni raccolte di per sé hanno poco valore, solo dopo averle valutate diventano basi di deduzioni. E' in questo passaggio, delicato, che la bravura di un consulente tecnico fa la differenza.

- La presenza di segni da sfregamento sulla carpenteria della Linea, il fatto che il nastro risultasse fuoriasco dall'ingresso fino a valle della saldatrice di circa 9 cm, presentando una colorazione sul bordo laterale tipica di un surriscaldamento, sono tutti elementi che portano a dedurre che presumibilmente la *causa dell'innescò* sia riconducibile al surriscaldamento provocato dallo sfregamento del nastro sulla carpenteria, con possibile formazione di scintille, oppure, vista la presenza di carta su tutta la linea, allo

sfregamento del nastro sulla carta.

- Appurato che il primo incendio è collocabile con certezza in prossimità della raddrizzatrice Aspo2, in primis per la testimonianza di Boccuzzi e per il fatto che la lancia della manichetta che un altro operaio teneva in mano, in attesa venisse collegata all'idrante, è stata rinvenuta proprio in quel punto, quello che è successo dopo è ricostruibile attraverso diverse evidenze. La testimonianza parla di un rumore “sordo”, seguito da un'onda di fuoco alta 7 metri, che fa pensare ad un incendio indotto da qualcosa in pressione. Esistono inoltre documentati episodi di rottura di flessibili con conseguente spandimento di olio in pressione, non solo, si è riscontrata la quasi distruzione del battuto del cemento sotto la raddrizzatrice Aspo2. Il tutto fa presumere che il primo incendio sviluppatosi, propagandosi verso il basso, abbia fatto collassare un primo flessibile, proprio sotto la raddrizzatrice, generando un flash fire.

- Lo studio dello storico allarmi e grazie anche alla comprensione dei circuiti oleodinamici, permette di individuare la finestra temporale all'interno della quale con molta probabilità è esploso il primo flessibile,

in pressione, che va dalle h 0.45'.50", ora dell'ultimo comando impartito, alle h 0.48'.24", ora in cui appare l'allarme di *basso livello d'olio* nel serbatoio della centrale oleodinamica, che segnala che è già in atto una perdita significativa di olio. Tale collasso, cui ne son seguiti molto probabilmente altri sia perchè sono stati contati 13 flessibili collassati sia perchè le testimonianze parlano di "scoppi acuti", ha provocato un getto continuo d'olio in pressione che ha portato quasi a svuotare il serbatoio della centrale. Tutto ciò è compatibile anche col fatto che alle h0.53'.00" l'allarme segnala il raggiungimento del basso *livello di olio* e poco dopo, alle h0.53'.10", la Linea viene arrestata per emergenza dovuta a mancanza di olio idraulico.

Tabella 2.5. Evidenze, che mantengono la numerazione utilizzata per indicarle sulla Spirale e corrispondenti deduzioni

Evidenze	Deduzioni
<ul style="list-style-type: none"> • Colorazione bordo laterale nastro, lato operatore (da 12) • Segni su carpenteria da sfregamento del nastro, in particolare nella zona di ingresso (da 13) • Nastro fuoriasse dall'ingresso fino a valle della saldatrice, di circa 9 cm (da 16) • Presenza di carta su tutta la linea (da 9) 	<p>La <i>causa dell'innesco</i>, in prossimità della raddrizzatrice dell'Aspo 2, è riconducibile al surriscaldamento prodotto dallo <u>sfregamento</u> nastro-carpenteria e/o nastro- carta accumulata</p>

<ul style="list-style-type: none"> • Residui carboniosi di carta tra i rulli della raddrizzatrice (da 10) 	<p>La <i>carta accumulata</i> ha funzionato da <u>combustibile</u> del primo focolaio di incendio in prossimità della raddrizzatrice Aspo 2</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Il battuto di cemento alla base della raddrizzatrice è frantumato (da 24) • L'esplosione ha prodotto un rumore “sordo” e le fiamme si sono propagate come “onde del mare alte 7 metri” mentre Boccuzzi era intento ad aprire l'acqua per la manichetta che serviva per spegnere il primo focolaio d'incendio (da 3 e 5) • La lancia della manichetta è stata trovata in prossimità della raddrizzatrice (da 8) • Risutano documentati episodi di rottura di flessibili con conseguente spandimento d'olio in pressione (da 18) 	<p>La <i>propagazione</i> del primo incendio sviluppatosi in prossimità della raddrizzatrice Aspo2, ha provocato il <u>collasso di un primo flessibile</u>, del circuito che governa la raddrizzatrice stessa</p>
<ul style="list-style-type: none"> • In tutto sono stati individuati 13 flessibili collassati (da 15) • C'è stato l'arresto della linea con segnale di livello minimo di olio (da analisi storico allarme) • Tipologia dei circuiti oleodinamici di linea (da analisi) • Documentati episodi di rottura di flessibili con conseguente spandimento d'olio in pressione (da 18) • Alla prima esplosione ne sono 	<p>L'onda di fuoco generata dallo scoppio del primo flessibile, ha provocato il <u>successivo collasso di altri flessibili</u>, che hanno continuato ad alimentare l'incendio spandendo olio idraulico fino a svuotare la centrale</p>

seguite altre più acute, tipo scoppi (da 4)	
--	--

5.3.2.3 Ricostruzione della dinamica incidentale

E' da poco passata la mezzanotte del 6 Dicembre 2007, il nastro della linea Aspo 1 è in svolgimento mentre quello sotto, dell'Aspo 2 è in attesa di andare a saldatura. Lo sfregamento del nastro sulla cesoia della linea Aspo1 o sulla carta accumulata su di essa, genera delle scintille che ricadono nella zona sottostante. Qui, in prossimità della raddrizzatrice Aspo 2 si sviluppa un incendio, che un addetto alla linea nota e comunica ai colleghi. Si provvede a ridurre la velocità della linea e a tentare di domare le fiamme con gli estintori a CO₂ a disposizione, senza riuscirci. Le fiamme si propagano verso il basso, nella vasca che la struttura portante della raddrizzatrice individua, che contiene carta, residui di olio di laminazione, gocciolamenti di olio idraulico che non fanno altro che alimentare il fuoco. Boccuzzi si reca all'idrante più vicino, per collegarlo alla manichetta già in mano ad un compagno ma non fa in tempo ad attivarla perchè nel frattempo le fiamme hanno bruciato i rivestimenti di gomma dei flessibili sotto alla raddrizzatrice, i raccordi terminali si sono deteriorati, provocando il collasso di un flessibile in pressione. Questo determina un violentissimo getto di olio idraulico che per effetto della repentina depressurizzazione, nebulizza, generando uno spray di vapori e goccioline minutissime. Tale spray d'olio trova innesco nel focolaio di incendio già in atto, sviluppando una "vampata" (flash fire) che interessa un'ampia zona attorno alla

raddrizzatrice Aspo 2, fino al muro lato operatori, investendo in pieno tutti gli operai. Solo Boccuzzi, riparato dal muletto parcheggiato vicino all'idrante, si ferisce lievemente. L'aumento delle fiamme per la fuoriuscita di olio determina il collasso di altri flessibili sotto alla raddrizzatrice, si assiste quindi a piccole esplosioni, percepite dai testimoni come degli “schioppi”. Si stima che sia uscita una quantità minima di olio pari a 430 litri. Tutti gli interventi protettivi manuali sono falliti e con molta probabilità la presenza di sistemi automatici di protezione e di riallineamento del nastro, sistemi di “messa in quiete” dei circuiti oleodinamici ed impianti antincendio fissi, avrebbero evitato questo disastro.

5.3.2.4 Aspetti emersi dall'indagine

Le considerazioni relative a questa indagine sono più che altro di tipo qualitativo.

- Le fotografie raccolte durante l'intera indagine sono state 468, molte caratterizzanti dettagli significativi, che sono state suddivise semplicemente per data di sopralluogo, rendendo la consultazione particolarmente difficile.

La mancanza poi di precisi riferimenti, di identificazioni, ha evidenziato la necessità di individuare qualche accorgimento da utilizzare nella fase di raccolta delle fotografie ma anche di predisporre una vera e propria catalogazione di quanto scattato. Si rimanda al paragrafo relativo alle fotografie del Capitolo 4 di questa trattazione per qualche approfondimento.

- La lamiera prelevata è stata sottoposta solo ad un esame visivo, che ne ha accertato la colorazione del bordo, tipica dell'effetto prodotto dal surriscaldamento, senza però riuscire a quantificarlo. Per questo si sarebbe rivelato utile un metodo di prova specifico.
- Analoga considerazione vale per i danni sulla carpenteria, che non sono stati valutati in modo approfondito, l'esistenza di un metodo di misura standardizzato avrebbe potuto quantificarli.

5.4 Molino Cordero, Fossano

5.4.1 L'azienda e il processo produttivo prima dell'incidente.

Il Molino Cordero è adibito alla molitura del frumento con una potenzialità giornaliera superiore ai 200 quintali ed occupa un edificio in muratura di forma rettangolare, costituito da:

- corpo centrale a quattro piani fuori terra più un piano seminterrato dove si concentra l'attività produttiva;
- magazzino sacchi su tre piani di recente costruzione CA;
- un immobile ad uso ufficio

Il processo che porta ad ottenere farina a partire dal frumento è abbastanza complesso ma può essere sintetizzato in tre step principali:

1. Pulitura del grano;
2. Bagnatura del grano;
3. Macinazione vera e propria.

Di seguito verranno descritte brevemente le varie fasi di lavorazione, per comprendere il contesto nel quale è avvenuto l'incidente.

Pulitura del grano.

Prima di essere macinato il frumento deve essere pulito da impurità e per far questo si utilizza un complicato sistema che grazie ad elevatori a tazze e coclee lo movimentano, attraverso i vari piani dell'edificio, riuscendo in una prima grossolana separazione. Successivamente viene fatto passare attraverso due macchinari presenti nel sottotetto che lavorano in combinato, *spazzola* (sfrega e toglie le particelle esterne) e *tarara* (che aspira quanto espunto dal grano). Continuando in una movimentazione verso i piani alti e subito dopo in caduta, il frumento passa attraverso diversi tipi di separatori, tra cui la macchina *pulversan* (il suo moto rotatorio centrifugo fa sbattere i chicchi contro le pareti, rompendo quelli vuoti) o lo *svecciatario* (un sistema di cilindri a griglie che separa il grano dalla “veccia” ossia le impurità vegetali). Arrivato al piano terra, subisce l'ultima fase della pulizia in una *macchina a selettore ottico*, che controlla grazie a microcamera la presenza di eventuali impurità, eliminando quelle individuate con getti d'aria.

Bagnatura del grano

Il frumento pulito viene mandato all'ultimo piano dell'edificio, dove una macchina chiamata “bagnagrano” dopo aver stimato l'umidità pregressa del grano, calcola la quantità d'acqua da irrorare per ottenere il tasso di umidità programmato. Dopo esser stato bagnato, rimane dalle 15 alle 24 ore a riposo per poi passare attraverso una *spazzola* che toglie eventuali pellicine ancora presenti. Il materiale viene poi mandato a due cassoni, in attesa di essere prelevato per la macinazione.

Macinazione

Il grano pulito e lavato viene fatto passare attraverso dodici laminatoi posti al piano terra, così da ottenere una molitura sempre più fine. Da tener presente che il passaggio da un laminatoio all'altro prevede al solito il sollevamento del frumento fino all'ultimo piano e la successiva ricaduta attraverso particolari separatori, detti *plansichter*, posti al terzo piano, che in base al tipo di maglia del telaio di seta montato, permettono di ottenere una farina più o meno fine. Il prodotto, a seconda del contenuto di impurezze, è crusca, tritello, farina di tipo “0” o di tipo “00” (la migliore) e solo la parte meno pregiata di questo, viene fatta passare per una separazione finale, con l'obiettivo di staccare le ultime particelle di farina. I differenti

prodotti vengono stoccati in singoli serbatoi chiamati silos farine.

La farina sfusa viene caricata su autocisterna grazie a caduta mediante apposita coclea, al contrario, viene scaricata dall'autobotte mediante trasporto pneumatico (alimentato da un compressore presente sull'autoarticolato) realizzato grazie al collegamento di una tubazione flessibile ad una fissa, di acciaio flangiata. Questa tubazione inizia al piano interrato e dopo un primo tratto orizzontale, devia in verticale, arrivando alla sommità della fariniera dopo avere attraversato tutti i locali di deposito farina, dove tutta una serie di ramificazioni e di valvole deviatrici consente di inviare la farina a diverse fariniere.

5.4.2 Lo sviluppo dell'indagine tecnica

Premessa

Questo caso di studio differisce rispetto agli altri in quanto l'indagine è stata condotta a più riprese, dal CT del PM l'Ingegnere A.Gerbotto prima e dall'Ingegnere Marmo in qualità di perito del GIP successivamente. L'incarico assunto nel 2009, a due anni quindi di distanza dall'evento incidentale, diventa emblema di quanto già sottolineato riguardo all'importanza che la raccolta delle evidenze venga effettuata con la maggior cura possibile, per lasciare memoria indelebile di dettagli che il tempo, le condizioni atmosferiche, le operazioni di messa in sicurezza per la chiusura

dell'area, cancellano. L'evoluzione dell'investigazione non cambia, se non per il fatto che una prima ricostruzione è già stata proposta, la consulenza tecnica diventa spunto di partenza per ulteriori considerazioni ed analisi. Al solito ogni osservazione deve essere supportata da elementi di riscontro oggettivi.

Cosa è già noto

Il 16 Luglio 2007 un'esplosione, cui è seguito un incendio ed una seconda esplosione ha provocato il parziale crollo dello stabile della ditta Molino Cordero ed è costato la vita a cinque persone. L'incidente è avvenuto mentre era in corso l'operazione di ripompaggio nella fariniera della farina in eccesso che era stata caricata su un'autocisterna, destinata alla ditta Colussi.

La ricostruzione del CT, degli ispettori dell'ASL, di un UPG concordano nel ricostruire la dinamica incidentale:

- la prima esplosione ha avuto origine all'interno di una fariniera, nel sottotetto, dove si stava ripommando la farina caricata in eccesso e si è propagata a gran parte dell'edificio mediante esplosioni secondarie
- un conseguente incendio si è sviluppato in diversi locali favorito dalla presenza di parecchi prodotti combustibili (carta, farina...)
- una seconda esplosione ha interessato l'autosilo nel cortile

La causa dell'innescò della nube di polvere appare invece meno chiara, le parti hanno avanzato diverse ipotesi che qualcuno doveva dirimere.

Le ipotesi avanzate relative alla causa dell'innescò sono:

- scintillio o surriscaldamento di qualche apparecchiatura
- detonazione all'interno del tubo di ripompaggio, ipotesi considerata la più plausibile

Obiettivi iniziali dell'indagine:

1. Individuare le *cause di innescò* dell'esplosione
2. Ricostruire la *dinamica incidentale*

5.4.2.1 La raccolta e l'analisi delle evidenze

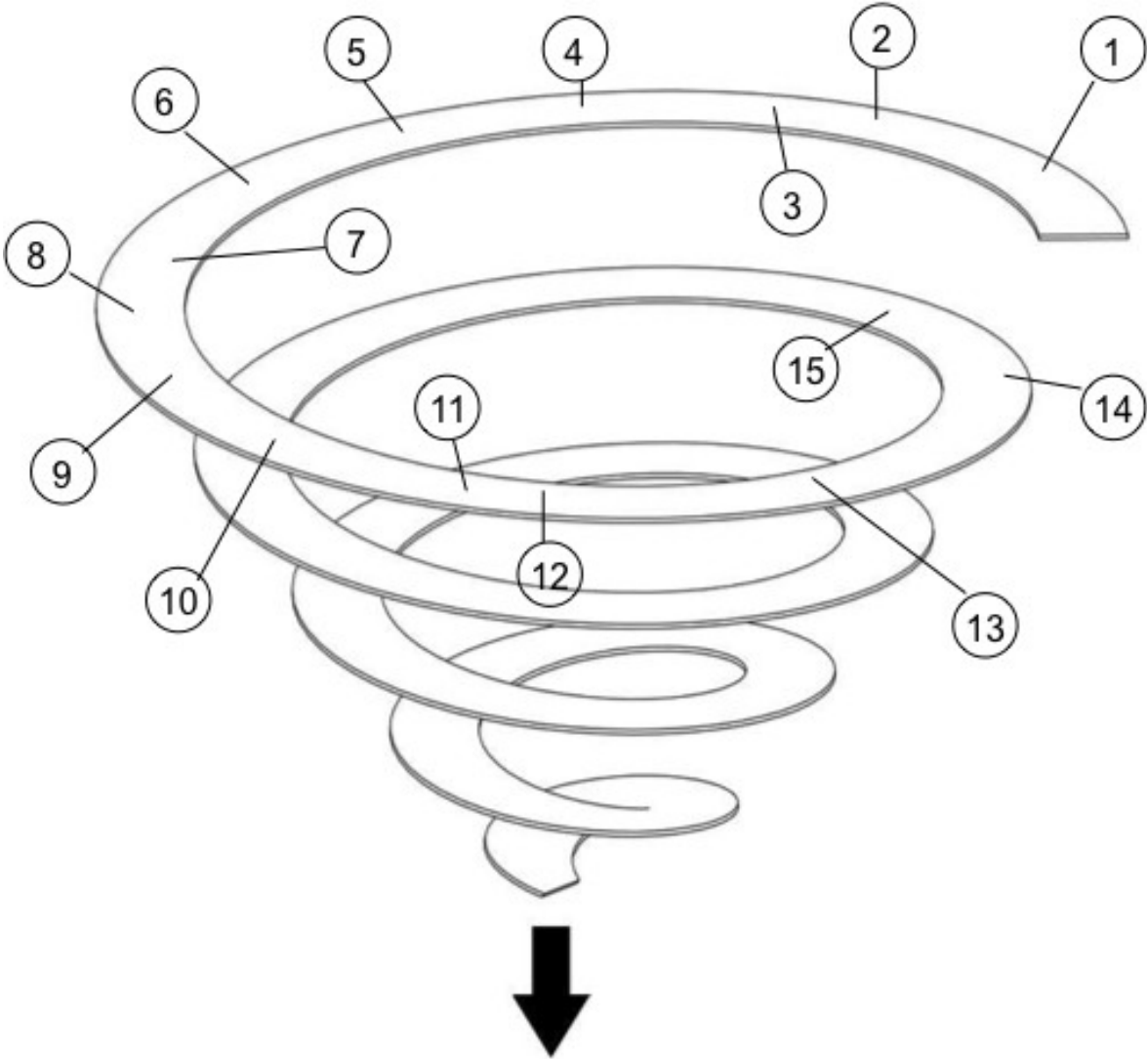


Figura 5.2

1. In corso il ripompaggio dall'autosilo al fariniere in legno della farina in eccesso appena caricata (*testimonianze e rilievi oggettivi*)
2. Autocisterna senza messa a terra – deduzione: c'è la possibilità che si generino delle scariche elettrostatiche
3. Presenza di un “tappo” di farina molto compatta all'interno del tubo di ripompaggio, in prossimità dell'attacco della manichetta flessibile (*da rilievi oggettivi*)
4. Tubo di ripompaggio caratterizzato da messa a terra e collegato ad autocisterna da manichetta isolante, di gomma, di circa 6 m (*da rilievi oggettivi*)- deduzione: si ha a che fare con due elementi metallici non equipotenziali
5. Danni evidenti da sovrappressione interna a carico delle flange del tubo di ripompaggio (*rilievi oggettivi e foto 10*)
6. Individuazione di un innesto tubo- fariniera di legno non andato distrutto (*rilievi oggettivi*) - deduzione: il tubo scarica direttamente nel silos, senza un sistema di abbattimento intermedio
7. Il trasporto pneumatico di polveri è causa certa di accumulo di cariche elettrostatiche (*da letteratura [12]*)
8. E' dimostrato che il trasporto pneumatico di polveri all'interno di un tubo isolante può generare accumulo carica elettrostatica tale da

- generare scariche elettrostatiche (da letteratura [12])
9. Esiste più di una tesi favorevole alla possibilità che tali scariche elettrostatiche siano in grado di innescare l'esplosione di una nube di polvere (da letteratura [12], [13])
 10. Valvola di ripompaggio in posizione di “bassa portata di farina” (*rilievi oggettivi*) - deduzione: la bassa concentrazione di farina all'interno del condotto implica la presenza di aria, cioè di comburente, e fa sì che la miscela possa rientrare nel campo d'infiammabilità
 11. Sibilo prolungato seguito da un forte boato (*testimonianze*) - deduzione: si ha a che fare con un'esplosione primaria all'interno di un'apparecchiatura o di un condotto
 12. Danni più significativi nella zona sottotetto, tetto disintegrato (*rilievi oggettivi e foto 11*)
 13. Silos realizzati in legno, cui era collegato il tubo di ripompaggio, completamente distrutti (*rilievi oggettivi*)
 14. Nessun danno da sovrappressione interna né nei silos di acciaio e neppure nelle apparecchiature rinvenute (*rilievi oggettivi*) - deduzione: non vi è avvenuta deflagrazione
 15. Il limite inferiore di infiammabilità della farina è compreso tra i 30 e i 60 g m^{-3} (da letteratura)



Foto 10. Danni da sovrappressione a carico di una flangia del tubo di ripompaggio, Molino Cordero



Foto 11. Edificio lato SUD con evidenti danni da sovrappressione interna e tetto disintegrato, Molino Cordero

5.4 Molino Cordero, Fossano



Foto 12. Danni lato NORD con crolli diffusi prevalentemente da collasso statico, Molino Cordero



Foto 13. Autobotte utilizzata per il ripompaggio della farina, Molino Cordero

5.4.2.2 Il passaggio da evidenze a deduzioni

Le informazioni raccolte di per sé hanno poco valore, solo dopo averle valutate diventano basi di deduzioni. E' in questo passaggio, delicato, che la bravura di un consulente tecnico fa la differenza.

- Testimonianze e rilievi oggettivi hanno permesso di appurare che al momento dell'esplosione era in corso il ripompaggio nella fariniera della farina caricata in eccesso sull'autobotte, attraverso il collegamento di una manichetta con il tubo di ripompaggio. Testimonianze riferiscono inoltre di un sibilo prolungato prima del boato, che è tipico di un'esplosione primaria all'interno di un'apparecchiatura oppure un condotto. All'interno del tubo poi, in prossimità dell'attacco della manichetta, è stato trovato un tappo di farina molto compatta, non solo, le flange del tubo di ripompaggio presentano deformazioni tipiche dell'azione di una sovrappressione interna. Tutte queste evidenze portano a dedurre ragionevolmente che il *punto di innesco* dell'esplosione primaria sia da individuare all'interno del tubo stesso di ripompaggio.

- Il ripompaggio della farina dall'autobotte avviene per trasporto pneumatico, regolato da una valvola, che è risultata essere impostata, al momento dell'incidente, su posizione di “bassa portata di farina”. Questa evidenza

assieme al fatto che il limite di infiammabilità della farina va da 30 a 60 g m⁻³ permette di reputare plausibile che la presenza di pochissima farina e di aria, sia pneumatica che ambiente, sia la causa all'origine della *formazione di una miscela esplosiva* all'interno del tubo.

- Dai rilievi è emerso che l'autobotte fosse priva di messa a terra, a differenza del tubo di ripompaggio, si deduce quindi di avere a che fare con due elementi non equipotenziali. In letteratura [12],[13] poi esistono diverse teorie a sostegno della possibilità che il trasporto pneumatico di polveri all'interno di un condotto isolante sia causa di formazione di scariche elettrostatiche, scariche reputate in grado di innescare una nube di polvere. Questi elementi avvalorano quindi l'ipotesi che la *causa dell'innescò* sia riconducibile ad una scintilla prodotta da scariche elettrostatiche generate dallo strofinamento della farina sulla manichetta di gomma.

- I danni individuati, quali lo scoperchiamento del tetto e la proiezione di frammenti, i silos di legno, in cui sfociava il tubo, completamente distrutti fanno presumere che la zona in cui s'è sfogata l'esplosione sia proprio il sottotetto.

- I danni ai piani sottostanti indicano che l'esplosione si è propagata a tutto lo stabile in forma di esplosioni secondarie

Tabella 3.5. Evidenze, che mantengono la numerazione utilizzata per indicarle sulla Spirale e corrispondenti deduzioni

Evidenze	Deduzioni
<ul style="list-style-type: none"> • Sibilo prolungato prima del forte boato (da 11) • Danni evidenti da sovrappressione interna a carico delle flange del tubo di ripompaggio (da 5) • Presenza di “tappo” di farina compattata all'interno del tubo, in prox dell'attacco della manichetta (da 3) 	Il <i>punto d'innesco</i> dell'esplosione primaria è all'interno del tubo di ripompaggio farina
<ul style="list-style-type: none"> • In letteratura [12],[13] esistono tesi a sostegno della possibilità che si formi scarica elettrostatica per trasporto pneumatico di polveri in un tubo isolante e che sia in grado di innescare una nube di polvere (da 8 e 9) • L'autocisterna e il tubo di ripompaggio non sono equipotenziali (da 2 e 4) 	La <i>causa dell'innesco</i> è riconducibile ad una scintilla prodotta dall'accumulo di cariche elettrostatiche probabilmente a seguito di strofinamento della farina sulla manichetta di gomma
<ul style="list-style-type: none"> • La valvola di ripompaggio in posizione di “bassa portata di farina” (da 10) • Il limite inferiore di infiammabilità della farina va da 30 a 60 g m⁻³ (da 15) 	All'interno del tubo si è formata un' <i>atmosfera esplosiva</i> in quanto la concentrazione di farina era inferiore al consueto e dunque entro il campo d'infiammibilità

<ul style="list-style-type: none">• Danni significativi in questa zona, con tetto scoperchiato e proiezione di frammenti vari (da 12)• Silos di legno al termine del tubo, completamente distrutti (da 13)• Altri silos in acciaio senza danni da sovrappressione (da 14)• Assenza di sistema di abbattimento farina tra il tubo e il silos di legno, collegati direttamente (da 6)	L'esplosione si è sfogata nella zona sottotetto, dove presenti le fariniere, sbocco del tubo di ripompaggio
--	---

5.4.2.3 Ricostruzione della dinamica incidentale

Il 16 Luglio 2007 al Molino Cordero si sta effettuando un carico di farina ad un'autocisterna destinata alla ditta Colussi, mediante, al solito, caduta tramite apposita coclea. L'aver superato di poco la quantità richiesta spinge l'addetto, a scaricare mediante trasporto pneumatico il prodotto in eccesso in una delle fariniere del molino. Per far questo collega, tramite una manichetta flessibile in dotazione sul mezzo, lo scarico dell'autobotte al condotto di ripompaggio farine, impostando la valvola di controllo del sistema di ripompaggio a bordo su "bassa portata di farina". All'interno del tubo si crea un'atmosfera esplosiva, vista la bassa concentrazione di farina, che innescata da una scarica indotta da un accumulo di cariche elettrostatiche produce un'esplosione primaria all'interno del condotto stesso. Questo accumulo di carica è stato generato con molta probabilità dallo strisciamento della polvere lungo

il tratto di gomma della manichetta, anche se non si può escludere completamente la possibilità che si fosse già in parte creato durante la fase precedente di carico all'autobotte.

Tale esplosione si è propagata lungo il tubo metallico trovando una via preferenziale di sfogo lungo la direzione del flusso, generando un'onda di pressione di intensità sempre maggiore in questo senso che ha deformato tutte le flange del condotto le cui tenute compromesse hanno facilitato il propagarsi dell'esplosione stessa nei locali attraversati. Il fronte di fiamma ha raggiunto la fariniera all'interno della quale si stava ripommando la farina, innescando un'esplosione molto violenta vista la grande quantità di farina in sospensione. Questo forte aumento di pressione da una parte ha disintegrato il tetto e parte delle strutture murarie, proiettando a distanza macerie, dall'altra ha provocato la discesa del fronte di fiamma attraverso il vano montacarichi interessando quindi tutti i locali del molino nei quali facilmente vi era farina depositata a terra (che sollevata è probabile abbia innescato esplosione secondaria), arrivando fino ai locali magazzino sacchi. Il fronte di fiamma ha innescato un incendio generalizzato vista la grande quantità di materiali combustibili presenti: farina, solette di legno, travatura del tetto. Una seconda esplosione ha interessato dopo circa 15 minuti l'autobotte.

5.4.2.4 Aspetti emersi dall'indagine

L'elemento di discussione di questa indagine è stato relativo alla possibilità di un innesco prodotto da scariche elettrostatiche accumulate per trasporto pneumatico di

polveri. L'esistenza di metodi di misura standard in grado di quantificare l'accumulo di cariche elettrostatiche, avrebbero permesso di riprodurre il fenomeno.

5.4 Molino Cordero, Fossano

Bibliografia

cap1

“Principi di Ingegneria Forense, La consulenza ingegneristica nel processo penale e civile”, Pippo Sergio Mistretta, Dario Flaccovio editore, 2011

cap2

[1] Lees' loss prevention in the process industries, 3rd ed., Sam Mannan, 2005

[2] “Dust explosions in the Process Industries”, 3rd edition, Eckhoff, Rolf K. © 2003

cap3

[3] “Guidelines for Chemical Process Incidents”, second edition, AIChE

[4] “Analisi post incidentale nelle attività a rischio di incidente rilevante”, APAT, manuali e linee guida 33/2005

[5] www.agbstudio.eu/drupal/ ultima visita 5/12/2011

cap4

[6] “ Fire Debris Analysis”, Eric Stauffer, Julia A. Dolan, Reta Newman, Academic Pr Inc, 2007

cap5

[7] W. Hamm, R. J. Hamilton, Edible Oil Processing, Sheffield Academic Press, Sheffield 2000”, dove a pag 230, nel capitolo 8, “Safety” è riportato quanto segue: *“The designer and processor must also take into account the risks that could arise from solvent or hydrogen being conveyed outside the safety envelope in solution in the edible oil itself. ... omissis... Hexane can also be left in the product due to inefficient extraction and desolventisation processes. Levels as high as 5% have been reported in olive oil extracted from seeds and pulp from small plants*

(personal communications). Again the hexane may be released in another process area, for example at a bleaching plant, where the unsuspecting refiner might not have taken any precautions to prevent an incident when the solvent is released into the plant.

[8] “Source Book of Stainless Steel”, America Society of Metals, 1976

[9] “Gli Acciai Inossidabili”, Gabriele Di Caprio, Hoepli, 06/2003

[10] Stainless Steels, Les Editions de Physique, 1993

[11] Grafico originario tratto da J. M. Kuchta, A. Bartkowiak, and M. G. Zabetakis “Hot Surface Ignition Temperatures of Hydrocarbon Fuel Vapor-Air Mixtures” Journal of Chemical and Engineering Data vol. 10, no. 3, July 1965

[12] Glor, 1988

[13] Prof. Eckhoff, 2003

Ringraziamenti

Un ringraziamento speciale va al Professor Luca Marmo, per la pazienza, l'attenzione, con cui mi ha seguita in tutti questi mesi, mettendomi a disposizione il suo grande bagaglio di competenze con un'umanità straordinaria. Grazie, di avermi dato fiducia.

Un ringraziamento d'obbligo al Professor Giuseppe Maschio per avermi appoggiata incondizionatamente in questo progetto, da me così sentito.

Grazie...

...a emilio, compagno di vita, di deliri, di sogni. Sei la mia forza, il mio coraggio, le parole che mi mancano. Sei tu che hai reso possibile tutto questo, perchè c'hai sempre creduto, molto più di me.

...a mia mamma e alla mia famiglia, perchè in tutti questi anni mi hanno lasciata libera di vivere, di perdermi e di ritrovarmi.

...alla mia famiglia siciliana, che mi accolta come una figlia, senza mai giudicarmi.

...alla super ale, amica, sorella, sempre presente anche nei miei momenti più bui, a chiara, diventata ormai insostituibile, alla eli, compagna di ansie e gioie, ad elena.

...a nico, parte del mio cuore, all'amiccio, ormai promosso a pieni voti ad amico di serie A, allo zio denis, unico, come solo tu sai essere, a robi, lontano, ma sempre presente quando necessario.

... alla mia famiglia torinese, ramona, fabri, cri, pablo, cristina e leonardo, che mi hanno supportata e sopportata in questi ultimi mesi di delirio.

...a stefano, perchè la squadra fortissimi vince sempre.

...a paolo.... perchè in tutti questi anni ci sei sempre stato, sempre... e tu sai quanto ha significato per me. Ogni volta che ho sbattuto contro un mio limite, ho trovato il tuo braccio cui aggrapparmi, pronto a sostenermi. Grazie di cuore.

Un pensiero al fede, che oggi vorrei qui assieme a tutti noi.