



## **Contaminazione da incendio e bonifica professionale:**

*l'identificazione dei danni a tutela della sicurezza negli ambienti di lavoro.*

Dott. Ing. Alberto Lagi

## INDICE

- Introduzione al corso
- L'incendio
- La combustione
  - Principi e definizioni
  - Prodotti della combustione (organici inorganici)
  - Le conseguenze dei contaminanti
- I metodi di misurazione della contaminazione
- La corrosione
  - La corrosione dei metalli per aerazione differenziata
  - Velocità di corrosione umidità e condizione al contorno
  - Corrosione ed energia elettrica
- Stabilizzazione del danno (protezioni temporanee)
- Il danno (sinistro)
- La bonifica
  - Bonifica civile
  - Bonifica delle macchine
  - Bonifica elettronica
- Conclusioni e test

# L'incendio

Contaminazione da incendio e bonifica professionale

## L'incendio

- **L'incendio è una combustione incontrollata** che avviene al di fuori di un luogo deputato a contenerla.
- Un incendio ha origine da:
  - Sostanze
  - Carenze impiantistiche
  - Uomo

## Le Fasi

---

- Fase 0: Incubazione
- Fase 1: iniziale o di accensione
- Fase 2 : Incendio vero e proprio caratterizzato da una emissione di potenza termica quasi costante (velocità di combustione costante)
- Fase 3: Estinzione

## L'incubazione

---

Questa fase è presente nei fenomeni di autocombustione; negli incendi di origine elettrica si sviluppa in archi temporali notevoli.

Esempio:

per gli incendi d'origine elettrica, si annuncia con l'emissione di cattivi odori.

## Fase 1: iniziale o di accensione

E' caratterizzata da grande instabilità.

Il fenomeno della combustione può procedere od estinguersi a seconda delle condizioni al contorno.

All'interno del volume dove si sviluppa l'incendio vi sono notevoli differenze di temperatura fra le varie zone.

Questa fase si divide in diversi stadi:

1. Ignizione
2. Propagazione

## Fase 1: iniziale o di accensione

### 1. Ignizione

Dipende dall'infiammabilità dei combustibili (capacità termica dei combustibili, punto d'infiammabilità temperatura di autoaccensione).

### 2. Propagazione

Dipende:

- dalla quantità di calore prodotto dalla combustione (energia termica generata; potere calorifico)
- dalla velocità di combustione (potenza termica generata), ossigenazione, propagazione del calore all'interno del combustibile ( $\lambda$  coefficiente di trasmissione termica)
- dalla capacità di produrre un notevole volume di gas e vapori infiammabili
- dalle condizioni al contorno come: geometria e volume degli ambienti

L'aumento di temperatura media all'interno dei volumi interessati dall'incendio è modesta.

## Fase 1: iniziale o di accensione

### 2. Propagazione

La combustione interessa i materiali combustibili la cui ignizione dipende dalle caratteristiche intrinseche degli stessi (capacità termica,  $\lambda$ , temperatura di flash point/autoaccensione, energia di attivazione, posizione rispetto al focolaio, ossigenazione).

Se il calore fornito non è sufficiente a scaldare il materiale combustibile adiacente a quello in cui si è sviluppata la combustione, l'incendio può estinguersi.

Lo sviluppo dell'incendio in questo stadio è irregolare e si può spegnere per mancanza di adeguata ossigenazione, pertanto finestre aperte o rotte e l'apertura di porte facilita lo sviluppo dell'incendio.

Se la combustione nei materiali combustibili prosegue ed il calore generato è maggiore di quello disperso all'interno del volume, viene raggiunta la temperatura di *flash over* (c.a. 600°C). A questa temperatura tutti i materiali combustibili si accendono. La temperatura cresce ancora ed i materiali combustibili solidi emettono vapori e gas infiammabili. Tutto s'incendia. (Meccanismo di trasferimento del calore: per convezione ed irraggiamento).

## Fase 1: iniziale o di accensione

- **La quantità di calore prodotto:  
il carico d'incendio e l'ossigenazione**

La quantità di calore sviluppato dipende sia dalla quantità di combustibile sia dalla capacità di ossigenazione della combustione.

Pertanto nell'indagine sull'origine e le cause dell'incendio è importante conoscere non solo la **quantità dei combustibili** ma anche **la loro disposizione** (la geometria dei locali e la dislocazione di finestre, porte, bocche di lupo, ecc.).

## Fase 1: iniziale o di accensione

### • La Propagazione dell'incendio

E' importante **analizzare le modalità di propagazione** della combustione per comprendere se la presenza di altri focolai sia dovuta all'azione dell'uomo od alla sua propagazione naturale.

#### Cause della propagazione

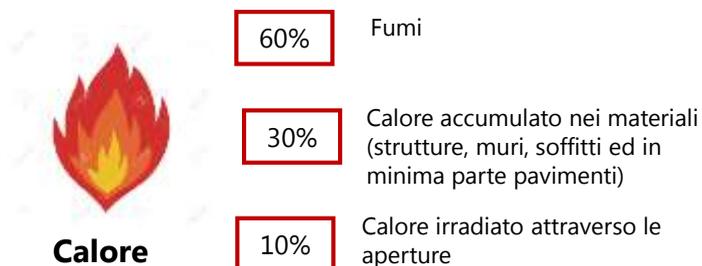
- ✓ Espansione dovuta al riscaldamento dell'aria  $PV = kRT$  rottura di finestre e porte
- ✓ Effetti camino (cavedi scale, ecc penetrazioni d'impianti)
- ✓ Impianti di ventilazione e condizionamento
- ✓ Coperture isolanti
- ✓ Lucernari
- ✓ Vento

## L'INCENDIO

## Fase 2: l'incendio vero e proprio

La combustione procede a velocità costante.

Se tutti i materiali combustibili avessero lo stesso potere calorifico allora il flusso termico generato (kW/mq) e la potenza (kW), sarebbero costanti.



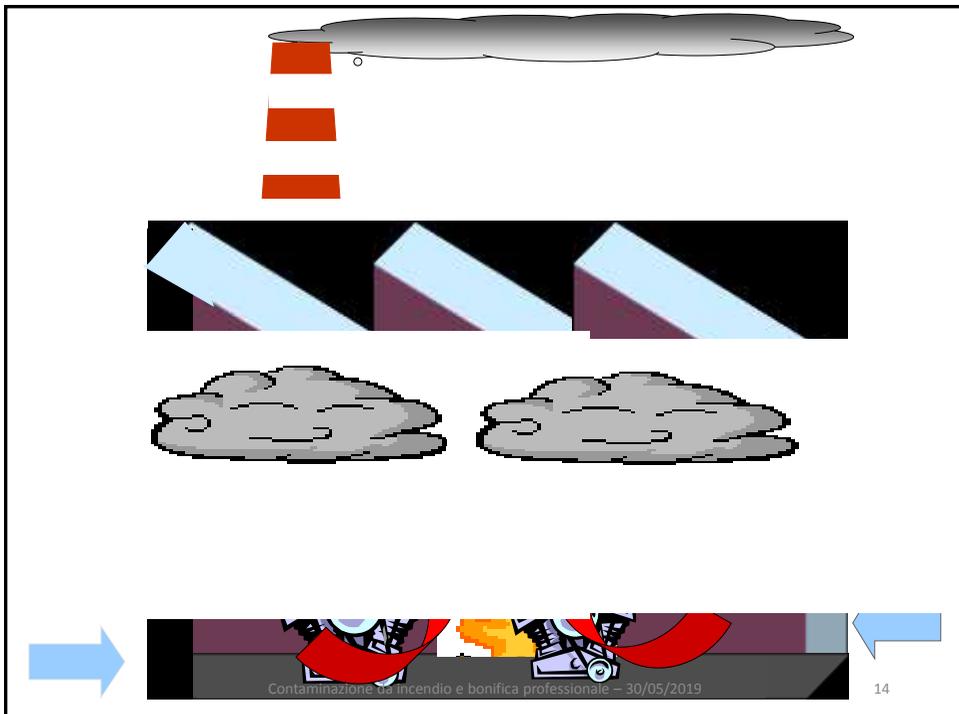
## L'INCENDIO

**Fase 2: l'incendio vero e proprio**

La temperatura all'interno del volume interessato dall'incendio non è costante: è più elevata a livello soffitto e decresce con la quota e perciò è minima sul pavimento.



Questo è un fatto importante per la determinazione della causa dell'incendio



## Fase 3: L'estinzione

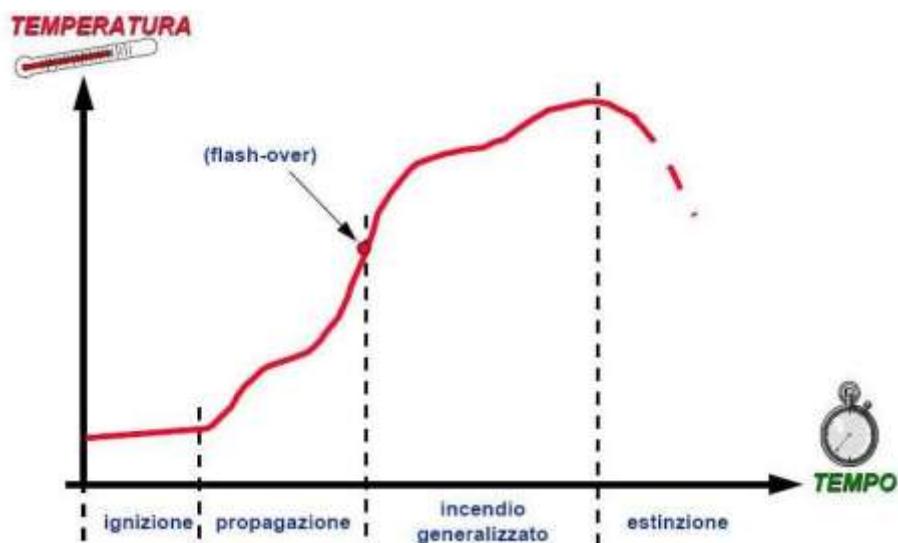
L'incendio dopo aver raggiunta la sua temperatura massima inizia a raffreddarsi per mancanza di ulteriore apporto di energia termica dalla combustione.



L'incendio può considerarsi concluso quando si raggiunge la temperatura di 300 °C.



## La Dinamica dell'incendio



## Doloso o accidentale?

In sintesi bisogna capire:

1. Se l'incendio è mono focolaio
2. A quanto ammonterebbe l'energia necessaria ad innescare la combustione
3. La modalità di propagazione dell'incendio  
Implica in prima istanza la valutazione della distanza e dalla quota (altezza) tra i materiali combustibili ed il focolaio.

## La Combustione

Contaminazione da incendio e bonifica professionale

## La Combustione

### ■ Il «quadrilatero» del fuoco



1. Il Combustibile
2. Il Comburente
3. L'energia d'attivazione
4. **Quantità minima** di combustibile che deve essere accesa affinché la combustione **si autosostenga e proceda.**

Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

19

COMBUSTIONE  
PRINCIPI E DEFINIZIONI

## I principi: Energia, Potenza, Temperatura

### ■ **ENERGIA:** è l'attitudine a compiere lavoro.

Si misura in Joule, Erg, Calore, Ev, ecc.

Per sollevare 1.000 kg ad un'altezza di 10m occorre un'**energia** (lavoro) pari a:

$$1.000 \text{ kg} \times 9,81 \times 10\text{m} = 98.100 \text{ Joule}$$

(9,81 =  $g$  = accelerazione di gravità in  $\text{m/s}^2$ )

### ■ **POTENZA:** è il lavoro o l'energia liberata nell'unità di tempo.

Si misura in Watt, kCal/h ecc.



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/

## I principi: Energia, Potenza, Temperatura

### Esempi:

Per sollevare 1.000 kg ad un'altezza di 10 metri **in un'ora** occorre una **potenza** di:

$$98.100 \text{ Joule}/3600 \text{ sec} = \mathbf{27,25 \text{ Watt}}$$

Un uomo dotato di opportune leve ha la **potenza** per eseguire questo lavoro.

Per sollevare 1.000 kg ad un'altezza di 10 metri **in 10 secondi** occorre una **potenza** di:

$$98.100 \text{ Joule}/10 \text{ sec} = \mathbf{9.810 \text{ Watt}}$$

Un uomo, qualsiasi sia la sua robustezza, seppur dotato di opportune leve **non ha la potenza** per eseguire questo lavoro in 10 secondi.

## I principi: Energia, Potenza, Temperatura

### Esempi:

Un condensatore elettrico della capacità di 100pf ( $10^{-12}$  Farad) caricato alla tensione di 10.000 Volt ha al suo interno immagazzinata un'energia pari a:

$$1/2CV^2 = 1/2 \times 100 \times 10^{-12} \times 10.000^2 = \mathbf{5 \text{ mJ } (10^{-3} \text{ Joule})}$$



In aria secca, avvicinando le due punte alla distanza di circa 1 cm scocca un arco elettrico.

Nell'ipotesi di mantenere artificialmente la durata dell'arco elettrico in  $5\mu\text{s}$  ( $10^{-6}$  s) allora la potenza dell'arco elettrico sarà di:

$$5\text{mJ}/5\mu\text{s} = \mathbf{1.000 \text{ Watt}}$$

ma l'energia immagazzinata nel condensatore, se potesse essere trasformata in lavoro, sarebbe capace appena di sollevare una massa di 50 g. all'altezza di 1 cm.

## I principi: Energia, Potenza, Temperatura

■ **TEMPERATURA:** è la grandezza fisica che fornisce la misura dello stato termico di un corpo. E' correlata allo stato di agitazione della materia.

Si misura in gradi centigradi °C; gradi fahrenheit °F; gradi assoluti o Kelvin °K = °C + 273,14

- 273,14°C è la temperatura in gradi °C dello zero assoluto Kelvin.

Allo zero assoluto le molecole e gli atomi di un sistema sono tutti allo stato fondamentale (ovvero al più basso livello di energia possibile) e il sistema ha il minor quantitativo possibile di energia cinetica permesso dalle leggi della fisica.

Questa quantità di energia è piccolissima, ma sempre diversa da zero.

All'aumentare della temperatura aumenta lo stato di agitazione di molecole e atomi e pertanto la loro energia cinetica.



## Correlazione tra Temperatura e Potenza

■ La **legge di Stefan-Boltzmann**, stabilisce che la potenza, per metro quadrato di superficie, irradiata da un corpo nero è proporzionale alla quarta potenza della sua temperatura:

$$P = \sigma \times T^4$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W / (m}^2 \text{ K}^4)$$

In generale la potenza termica emessa per irraggiamento da un corpo è funzione diretta della quarta potenza della temperatura assoluta.



## Correlazione tra Temperatura e Potenza

### ■ La legge di Wien

$$\lambda_{\max} = \frac{T}{2,898 * 10^3}$$

°C	°K	$\lambda_{\max}$ ( $\mu\text{m}$ )
200	473,14	6,125
300	573,14	5,056
400	673,14	4,305
500	773,14	3,748
600	873,14	3,319
700	973,14	2,978
800	1073,14	2,700
900	1173,14	2,470
1000	1273,14	2,276



## L'energia e la tendenza della natura

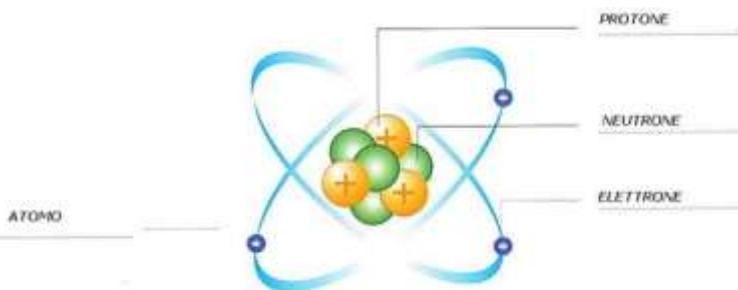
- La natura procede verso la **stabilità** che è in generale lo stato energetico più basso compatibilmente con le condizioni al contorno.



## I mattoni della natura

- Tutta la materia è costituita da una combinazione di elementi (gli atomi).

Le molecole, raggruppamento di più atomi, si compongono in maniera tale che la loro aggregazione porta ad uno stato energetico complessivo più basso e pertanto più stabile.



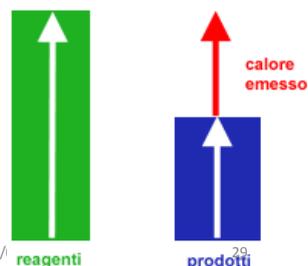
## Gli elementi in natura

group																	18		
1*																	0		
Ia																	VIIIb		
1	H																	He	
2	Li	Be																	Ne
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar											
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	Fr	Ra	Ac	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	
			58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71			
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
			90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103			
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			

\* Numbering system recommended by the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)  
 \*\* Previous IUPAC numbering system  
 \*\*\* Numbering system recommended by the Chemical Abstracts Service  
 \*\*\*\* For the names of elements 104–112, see table.

## Le caratteristiche chimiche di nostro interesse

- Analizzando la tabella del Mendeleev si nota che:
  - ✓ Alcuni elementi hanno facilità a perdere elettroni (elementi che si ossidano facilmente)
  - ✓ Alcuni elementi hanno facilità ad acquisire elettroni (elementi che si riducono facilmente) come il Cloro, l'Ossigeno, Fluoro.
- Gli ossidi sono i composti che derivano dalla reazione fra un elemento capace di perdere elettroni con l'ossigeno.
  - ✓ Gli ossidi degli elementi che si trovano a SX della tabella degli elementi, sono in generale più stabili, ossia hanno un'energia interna minore di quella dei singoli elementi che li costituiscono.
- La reazione pertanto è esotermica



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05

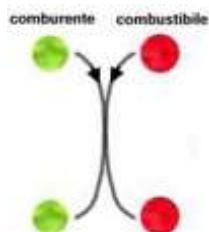


## Le reazioni chimiche

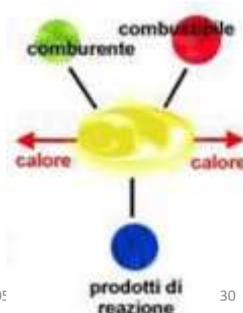
- Le reazioni chimiche avvengono per urti fra molecole e sono influenzate dalla concentrazione delle specie reagenti.
- Affinché le reazioni avvengano, a parità di concentrazione fra le specie, è necessario che l'energia cinetica posseduta dalle molecole dei reagenti sia superiore ad un certo valore (energia di attivazione).

### URTO ELASTICO

**NON c'è reazione** tra molecole a bassa temperatura e quindi sono lente



**REAZIONE** tra molecole ad alta temperatura e quindi sono veloci



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05



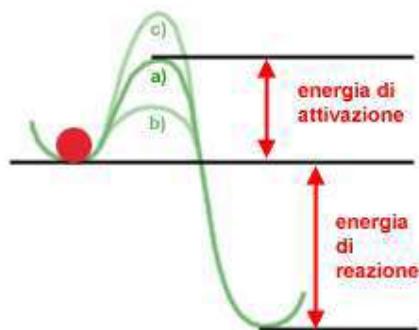
30

## Energia di attivazione

Se non si somministra una quantità di energia sufficiente a fare avvenire la reazione questa non ha luogo.

L'energia di attivazione di una reazione può essere ridotta mediante l'utilizzo di opportune sostanze chiamate **catalizzatori**.

L'energia di attivazione di una reazione può essere elevata utilizzando degli **inibitori** di reazione.



Contaminazione da incendio e bon

31

## La Combustione

- La combustione è la **reazione di ossidazione** di una sostanza combustibile che procede autonomamente, dopo il suo innesco.
- La reazione procede se la potenza termica (funzione diretta della quantità di combustibile ossidato - bruciato - nell'unità di tempo) generata dal combustibile infiammato è in grado di fornire al combustibile non infiammato l'energia necessaria affinché la reazione di ossidazione (combustione) proceda.



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

32

## Come gli stati di aggregazione della natura influenzano la combustione

■ Stati di aggregazione della materia:

- 1. Solido: ha forma e volume proprio
- 2. Liquido : non ha forma propria ma ha volume proprio
- 3. Gassoso: non ha ne forma ne volume proprio



## Combustibili solidi: principali caratteristiche

Materiali plastici, combustibili, carta e legno	T. Auto accensione °C	Potere Calorifico Inferiore Kcal/Kg	Conduttività termica $\lambda$ (W/m °K)	Calore Specifico Kcal/kg°C
PVC rigido	450	3.580-5.016	0.12 - 0.17	0,21
PVC elastico	450-454	6.211-8.122	0.12 - 0.17	0,21
Polietilene (PE)	394	8.122-10.990	0,4	0,48
Polipropilene (PP)	350	10.990	0,22	0,43
Polistirene (PS)	488-496	7.645-10.033	0,08	0,32
Poliammidi	429	4.778-9.078	0,23 – 0,28	0,38
Polimetacrilato di metile	450-462	5.495-6.690	0,19	0,36
ABS	480	9.078	0,30	0,32
Carta	360	955	0,12	0,45
Legno	400	3.400	0,17	0,65
<b>TERMOINDURENTI</b>				
Poliuretatiche	460	7.167-9.078	0,034	0,43
Poliesteri	483-488	4.540-6.690	0,038 – 0,054	0,32
Fenoliche	497	6.210	0,021 – 0,024	0,41
Epossidiche	>300	2.866-7.406	0,30	0,33



## Combustibili solidi: Importanza dei vari coefficienti

- La **capacità termica** influenza l'energia di innesco (più alta è la capacità termica del combustibile più alta è l'energia d'innesco a parità di temperatura di autoaccensione)
- Il **coefficiente di trasmissione termica** è importante per calcolare sia la facilità sia la velocità del procedere della combustione (perché misura la facilità con cui il calore generato dalla combustione si trasferisce dal combustibile già incendiato a quello non ancora incendiato)
- Il **potere calorifico**, a parità di velocità di combustione, più alto esso è, più flusso termico genera.
- **Temperatura di autoaccensione** è la temperatura alla quale il combustibile prende fuoco spontaneamente.



## Quantità di energie a confronto

### Esempi:

- Per portare 1 kg di legno al suo punto di infiammabilità circa 250 °C da una temperatura iniziale di 30 °C in condizioni adiabatiche (ideali) occorrono circa 598 KJoule  
 $(0,65 \text{ kCal/}^\circ\text{K kg}) * 1 \text{ kg} * 4.186 * (250-30)$
- Per portare 1gr di rame alla temperatura di 1.000 °C partendo dalla temperatura iniziale di 0°C, sono necessarie 385 Joule.  
 $0.001 \text{ kg} * (385\text{J/}^\circ\text{K kg}) * (1.000-0)$



## Combustibili liquidi: principali caratteristiche

- Sono caratterizzati oltre che da calore specifico, temperatura di autoaccensione, anche da punto di infiammabilità (*flash point*) e campo di infiammabilità.
- **Punto di infiammabilità** (o *flash point*) di un combustibile è la temperatura più bassa alla quale si formano vapori in quantità tale che in presenza di ossigeno (aria) e di un innesco danno luogo al fenomeno della combustione.
- Il **Campo di infiammabilità** è l'intervallo di concentrazione percentuale massima e minima (cioè i **limiti di infiammabilità**) di un gas o del vapore di un liquido combustibile miscelato con un comburente (generalmente aria), tra i quali può avvenire la combustione in presenza di un innesco.



## Combustibili liquidi: Temperature d'infiammabilità

Sostanza	Temperatura di infiammabilità (°C) Valori indicativi
Acetone	-18
Benzina	-20
Gasolio	65
Alcool etilico	13
Alcool metilico	11
Toluolo	4
Kerosene	> 23



## Combustibili liquidi: Temperature d'inflammabilità

Sostanza	Limite inferiore %	Limite superiore %
Acetone*	2.6	13
Benzina	0.9	7.5
Gasolio	1	6
Alcool etilico	3.3	19
Alcool metilico*	7	44
Toluolo *	1.1	7.1
Kerosene	1.16	6.0

\* Campo di esplosività



## Combustibili gassosi

Combustibile	Temperatura Flash point °C	Temperatura di autoaccensione °C
Idrogeno		560
Metano		537
Butano	- 60	365
Propano *	-104	450
Esano	-22	240
Acetilene*		305

\* Limite di esplosività



## Combustibili gassosi

Combustibile	Limite inferiore %	Limite superiore %
Idrogeno*	4	75
Metano*	5	15
Butano*	1.5	8.5
Propano *	2.1	9.5
Esano*	1.2	7.7
Acetilene*	2.5	81

\* Limite di esplosività



## Combustibili gassosi o vapori di combustibili liquidi: energia d'innesco

Combustibile	Energia d'innesco mJ
Idrogeno	0.02 mJ
Metano	0.29 mJ
Butano	0,25 mJ
Propano	0.25 mJ
Esano	0.29 mJ
Acetilene	0.02 mJ
Benzina	0.25 mJ
Kerosene	0,5 – 2 mJ
Gasolio	0.5 – 2 mJ
Acetone	1.15 mJ
Alcool etilico	0,215 mJ
Alcool metilico	0.215 mJ
Toluolo	0,55 mJ



## Colore e temperatura

COLORE FIAMMA	Temperatura in °C
Amaranto pallido	480
Amaranto	525
Rosso sangue	585
Rosso scuro	635
Rosso	675
Rosso chiaro	740
Rosso Pallido	845
Rosa	900
Arancione	940
Giallo	995
Giallo pallido	1.080
Bianco	1.205
Azzurro / Blu viola	1.400



## Le temperature della fiamma

### Combustibili solidi:

Temperatura da 500 a 800 °C

### Combustibili liquidi:

Temperatura da 1.300 a 1.500 °C

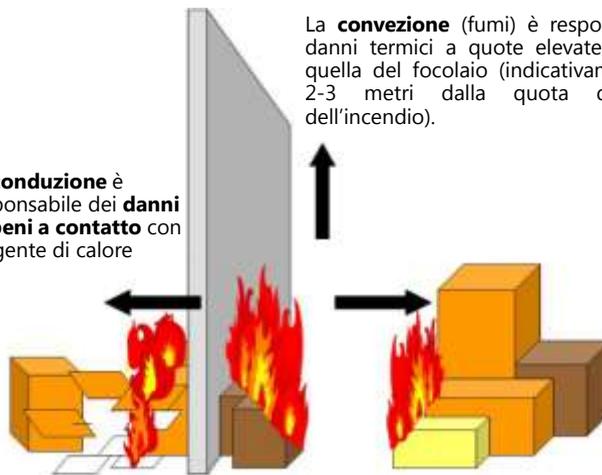
### Combustibili gassosi:

Temperatura da 1.600 a 3.000 °C



## Rilascio di energia termica

La **conduzione** è responsabile dei **danni di beni a contatto** con sorgente di calore



La **convezione** (fumi) è responsabile dei danni termici a quote elevate rispetto a quella del focolaio (indicativamente oltre 2-3 metri dalla quota di origine dell'incendio).

L'**irraggiamento** è responsabile di **danni termici** a tutti i beni situati in vista della fiamma



## Rilascio di energia termica

### DANNI IRREVERSIBILI DIRETTI:

L'energia termica (per **irraggiamento**, **conduzione** e **convezione**) può indurre danni irreversibili alla quota del focolaio, normalmente solo in prossimità dello stesso.



Si verificano danni durevoli tutte le volte che l'energia che investe un bene è maggiore di quella da esso sopportabile.



# Scenari post sinistro

*Analisi di casi*

Arch. Marco Porfiri

Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

47

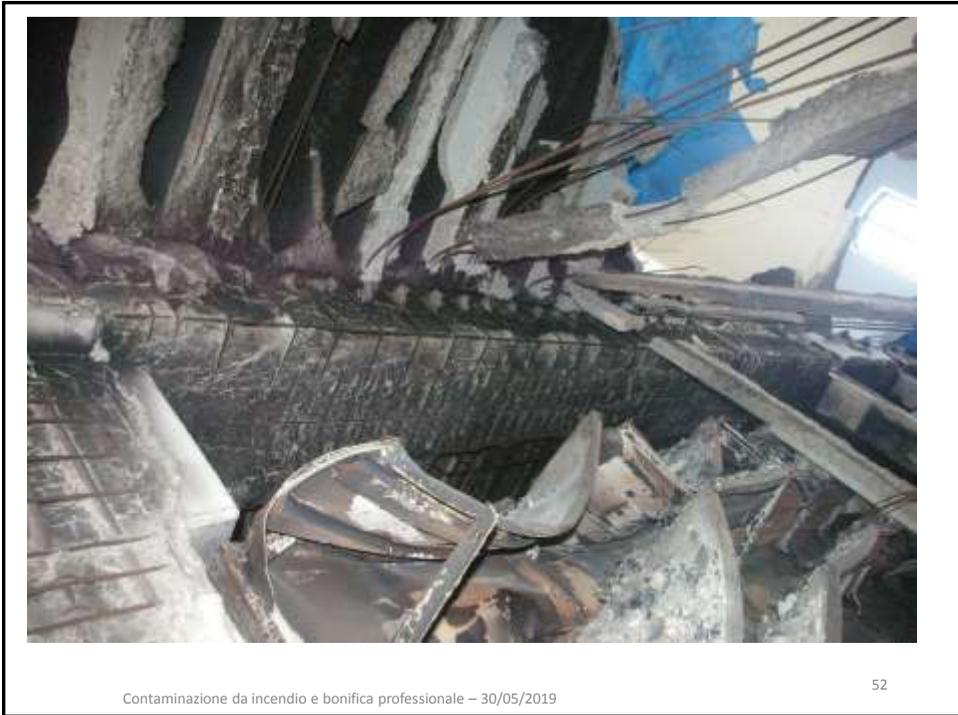
## Un incendio distruttivo



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

48







Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

53



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

54



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

55

## **Danni irreversibili e danni potenzialmente reversibili**

*Analisi di casi*

Arch. Marco Porfiri

56

### Incendio in un Bar a Caserta



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

57



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

58



Danni che mutano  
nel tempo...



## I Prodotti della combustione (organici e inorganici)

I fumi emessi nel corso di un incendio possono contenere prodotti contaminanti:

■ Inorganici

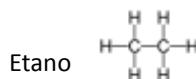
■ Organici



## Le sostanze combustibili

La maggior parte delle sostanze combustibili sono di natura organica.

Queste sono composte principalmente di atomi di carbonio ed idrogeno di tipo alifatico ossia legati in catene aperte:



Acetilene

o contenenti anelli benzenici che per il loro odore caratteristico sono definite aromatiche:

Benzene



Il toluene

*(ottimo solvente per campionare i POP = Persistent organic pollutants)*

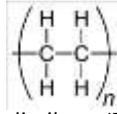


## Le sostanze combustibili

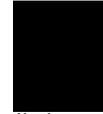
### Le materie plastiche



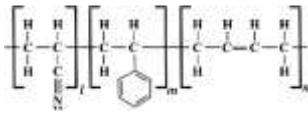
Polivinilcloruro (PVC)



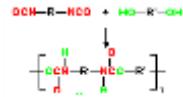
Polietilene (PE)



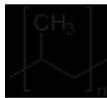
Polistirene (PS)



ABS



Poliuretano (PU)



Polipropilene (PP)



Polietilene tereftalato (PET)



## Le sostanze combustibili

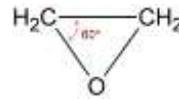
### Le materie plastiche



Polimetilmetacrilato (Plexiglass)

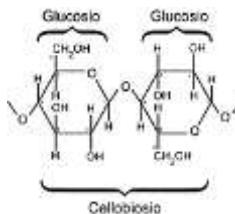


Poliammide (Nylon)



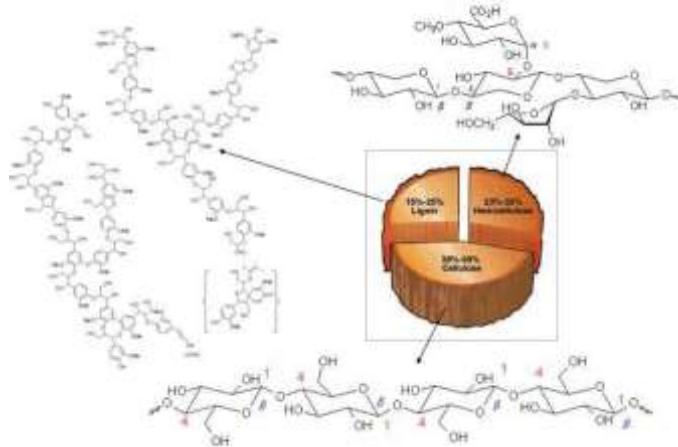
Anello epossidico (mattoncino elementare delle resine epossidiche)

### La carta



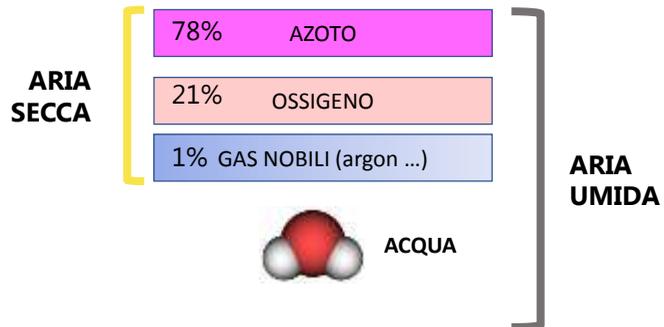
## Le sostanze combustibili

### Il legno



## Le sostanze comburenti

L'aria è il comburente più comune



## I prodotti della combustione

■ La quasi totalità degli elementi che compongono i combustibili è rappresentata da **carbonio e idrogeno**. Nelle materie plastiche alcuni atomi di idrogeno sono sostituiti da atomi di cloro e bromo, che hanno il compito di «ritardare la fiamma» (vedi ad esempio il PVC).

Nel poliuretano si nota la presenza del gruppo CN (carbonio e Azoto).

Ne consegue che in caso di combustione in aria la presenza di idrogeno, carbonio, cloro, bromo e gruppo CN dà origine a **prodotti della combustione inorganici ed organici**.



## I prodotti della combustione

### ■ Prodotti della combustione INORGANICI:



H<sub>2</sub>O (sotto forma di vapore acqueo)



HCl (acido cloridrico)



CO<sub>2</sub> (anidride carbonica)



CO (ossido di carbonio, sostanza letale)



HBr (acido bromidrico)



HCN (acido cianidrico, sostanza letale)



## I prodotti della combustione

### ■ Prodotti della combustione ORGANICI:

Nel caso la combustione in presenza d'aria non avvenga in condizioni stechiometriche (una reazione stechiometrica si ha quando le specie reagenti stanno tra loro in un rapporto preciso: ad es. una mole di carbonio reagisce con una mole di ossigeno generando  $\text{CO}_2$ ), e in particolare nel caso in cui la combustione avvenga in carenza di ossigeno, si formano i cosiddetti **Inquinanti Organici Persistenti** (Persistent Organic Pollutants o POP), **composti organici resistenti al degrado ambientale**, che comprendono **IPA** (Idrocarburi Policiclici Aromatici) e **Diossine**.



## I prodotti della combustione

### ■ Prodotti della combustione organici:

I **POP (Inquinanti Organici Persistenti)** si formano nei processi di combustione di materiale organico, in presenza di cloro e in carenza d'ossigeno, e in alcuni processi industriali (tra cui quelli di produzione/riciclo di materiali metallici).

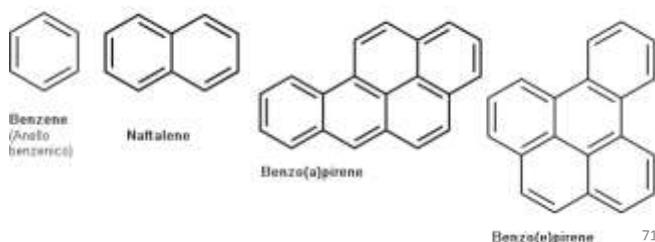
Essi comprendono gli **IPA** (Idrocarburi Policiclici Aromatici) e le **Diossine**.

## I prodotti della combustione

### ■ Prodotti della combustione organici:

Gli **IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici)** costituiscono una vasta classe di composti organici la cui caratteristica strutturale è la presenza di due o più anelli benzenici uniti tra loro.

Sono noti IPA con un numero di anelli benzenici variabile da 2 a 7. Queste sostanze sono **poco solubili nell'acqua** ma molto solubili nei grassi o nel toluene.



## I prodotti della combustione

### ■ Prodotti della combustione organici:

Possibili sorgenti di formazione degli **IPA** sono le seguenti:

1. processi industriali vari (in particolare: produzione d'alluminio, ferro e acciaio, fonderie)
2. lavorazioni del carbone e del petrolio
3. impianti di generazione d'energia elettrica
4. inceneritori
5. riscaldamento domestico (specialmente a legna e carbone)
6. emissione veicolare
- 7. incendi in genere e incendi di foreste;**
8. combustioni in agricoltura
9. fumo di tabacco
10. vulcani, che possono rappresentare una sorgente naturale con un impatto locale rilevante.

COMBUSTIONE  
I PRODOTTI

# I prodotti della combustione

● Tossicità degli IPA secondo IARC - INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER

38 IARC MONOGRAPHS VOLUME 92  
used names that appear in this monograph may not be those used in the primary CAS Index or by IUPAC.

Table 1.1. IARC Monographs volume<sup>a</sup> and evaluation of the polycyclic aromatic hydrocarbons covered in this monograph

Common name	Volume(s)	Group
Acenaphthene	—	—
Acenaphthylene	—	—
Acenaphthylene	32	3
Anthracene	32	3
1,1'-Benz[a]fluoranthene	—	—
1,1'-Benz[b]fluoranthene	—	—
1,1'-Benz[e]fluoranthene	—	—
1,1'-Benz[k]fluoranthene	—	—
1,2,3,4-Benz[a]perylene	3, 32	2A
Benzo[a]anthracene	—	—
Benzo[a]fluoranthene	—	—
Benzo[a]pyrene	3, 32	2B
Benzo[b]fluoranthene	—	—
Benzo[b]kfluoranthene	—	—
Benzo[b]perylene	32	3
Benzo[e]fluoranthene	—	—
Benzo[e]perylene	32	3
Benzo[g]perylene	32	3
Benzo[h]perylene	32	3
Benzo[k]fluoranthene	—	—
Benzo[k]perylene	32	3
Benzo[ghi]perylene	3, 32	2A
Benzo[ghi]perylene	3, 32	3
Chrysene	3, 32	3
Crocin	32	3
4,7,8-Trifluorobenz[a]perylene	—	—
Cyclopenta[1,2,3-cd]perylene	32	3
5,6-Cyclopenta[1,2,3-cd]perylene	—	—
Dibenz[ah]anthracene	32	3
Dibenz[ah]anthracene	3, 32	2A
Dibenz[ah]anthracene	32	3
Dibenz[ah]anthracene	32	3
1,2,3,4-Dibenz[a,h]perylene	3	3
Dibenz[ah]anthracene	3	3
Dibenz[ah]anthracene	3, 32	2B
Dibenz[ah]anthracene	—	—
1,2-Ethylbenzoanthracene	—	—
1,4-Dimethylbenzanthracene	32	3
Fluorene	32	3
Indeno[1,2,3-cd]perylene	3, 32	2B

- Legenda**
- 1 = Cancerogeno per l'uomo;
  - 2° = Probabilmente cancerogeno per l'uomo;
  - 2B = Possibilmente cancerogeno per l'uomo;
  - 3 = Non classificabile come cancerogeno per l'uomo;
  - 4 = Probabilmente non cancerogeno per l'uomo.

73

COMBUSTIONE  
I PRODOTTI

# I prodotti della combustione

Le **Diossine** sono una famiglia di composti comprendente due sottoinsiemi di specie chimiche:

- i **PCDD** (policloro-dibenzo-para-diossine)
- i **PCDF** (policlorodibenzofurani)

Anche le combustioni naturali sono responsabili della presenza ambientale di PCDD e PCDF, tanto che tracce di tali composti sono state rilevate in reperti "storici" di sedimenti e suoli.

Nome	Struttura
Policlorodibenzodiossine (PCDD)	
Policlorofurani (PCDF)	



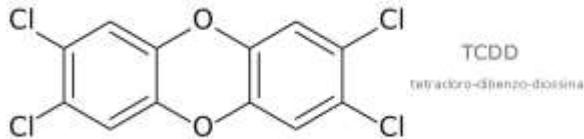
Contamin

74

## I prodotti della combustione

Le **policlorodibenzodiossine (PCDD)** si formano dalla reazione chimica di combustione se nella molecola del combustibile è presente cloro (come nel caso del PVC o Polivinilcloruro).

La **Tetraclorodibenzodiossina (TCDD)** appartenente alla famiglia dei PCDD, è quella che presenta la maggiore tossicità per l'uomo. Le altre diossine hanno tossicità minori e sono confrontabili con la tossicità della TCDD mediante il **Fattore di Equivalenza Tossica (TEF)**.



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

75

## I prodotti della combustione

Viene definita **Tossicità Equivalente di un gruppo di diossine (TEQ)** la somma delle concentrazioni delle varie diossine moltiplicate per i relativi **TEF** come mostrato nella tabella sottostante redatta dal WHO (World Health Organization), che ha identificato PCDD tossiche derivate da attività antropiche.

PCDD	TEF
2, 3, 7, 8-tetraclorodibenzodiossina (TCDD)	1
1, 2, 3, 7, 8-pentaclorodibenzodiossina (PeCDD)	0,5
1, 2, 3, 4, 7, 8-esaclorodibenzodiossina (HxCDD)	0,1
1, 2, 3, 7, 8, 9-esaclorodibenzodiossina (HxCDD)	0,1
1, 2, 3, 6, 7, 8-esaclorodibenzodiossina (HxCDD)	0,1
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-eptaclorodibenzodiossina (HpCDD)	0,01
octa clorodibenzodiossina (OCDD)	0,001

Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

76

## I prodotti della combustione

### PCDF = Dibenzofurano policlorurato.

Identifica una classe di composti molto tossici prodotti in fase gassosa dalla combustione incompleta di materiale organico contenente cloro e che sono comunemente inclusi nella categoria delle Diossine, pur essendo in realtà dei derivati del Furano.

Le Diossine sono poco solubili in acqua e molto solubili nei grassi.

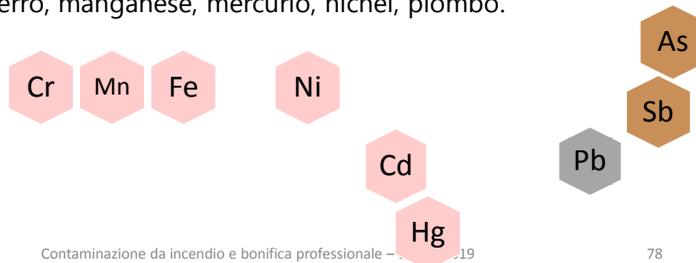


## I metalli pesanti

I **metalli pesanti** sono prodotti dal traffico e anche dagli incendi quando vi sono coinvolte apparecchiature elettroniche ed elettriche o in generale quando sono coinvolti beni formati da metalli.

Nelle schede elettroniche, negli interruttori, ecc.. sono ad esempio presenti i seguenti metalli pesanti: cadmio, cromo, nichel, piombo, stagno, ferro.

In generale i metalli pesanti ricercati dagli enti preposti (es. ARPA) sono i seguenti: antimonio, arsenico, cadmio, cromo, ferro, manganese, mercurio, nichel, piombo.



## I metalli pesanti

Metallo pesante	u.m.	Limite A	Rif. Limite A	Limite B	Rif. Limite B
Antimonio Sb	ng/m <sup>3</sup>			500.000	ACGIH 2016
Arsenico As	ng/m <sup>3</sup>	6	D.Lgs. 155/10	10.000	ACGIH 2016
Cadmio Cd	ng/m <sup>3</sup>	5	D.Lgs. 155/10	10.000	ACGIH 2016
Cromo Cr	ng/m <sup>3</sup>			500.000	D.Lgs. 81/08
Ferro Fe	ng/m <sup>3</sup>			1.000.000	ACGIH 2016
Manganese Mn	ng/m <sup>3</sup>			100.000	ACGIH 2016
Mercurio Hg	ng/m <sup>3</sup>		WHO 2000	20.000	ACGIH 2016
Nichel Ni	ng/m <sup>3</sup>	20	D.Lgs. 155/10	100.000	ACGIH 2016
Piombo Pb	ng/m <sup>3</sup>	500	D.Lgs. 155/10	50.000	ACGIH 2016

ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists

Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

79

## Le polveri sottili

Il **particolato** è l'inquinante che oggi è considerato di maggiore impatto nelle aree urbane: è composto da tutte quelle particelle solide e liquide disperse nell'atmosfera, con un diametro che va da pochi nanometri a 500 µm e oltre (cioè da milionesimi di metro a mezzo millimetro).

Fra i **fattori naturali** vi sono (ad esempio):

- polvere, terra, sale marino alzati dal vento (il cosiddetto "aerosol marino")
- incendi
- microorganismi
- pollini e spore
- erosione di rocce
- eruzioni vulcaniche



Contaminazione da incendio e bonifica professio

## Le polveri sottili

Fra i **fattori antropici** si comprende la gran parte degli inquinanti atmosferici:

- emissioni della combustione dei motori a combustione interna (autocarri, automobili, aeroplani, navi)
- emissioni del riscaldamento domestico (in particolare gasolio, carbone e legna)
- residui dell'usura del manto stradale, dei freni e dei pneumatici delle autovetture
- emissioni di lavorazioni meccaniche, dei cementifici, dei cantieri
- lavorazioni agricole
- inceneritori e centrali elettriche
- fumo di tabacco.



Contaminazione da incendio e bonifica professionale

## Emissione di fumi contaminanti

### PRODOTTI INORGANICI DELLA COMBUSTIONE

Nella maggior parte dei casi, nell'incendio sono coinvolte sostanze organiche la cui composizione è basata su catene aperte o chiuse di carbonio, idrogeno ed altri elementi.

I prodotti della combustione sono pertanto formati da:

- Acqua
- Anidride carbonica
- Ossidi di carbonio
- Ossidi di azoto
- Ossidi di zolfo
- Metalli pesanti

Nel caso in cui i materiali plastici siano **caricati con ritardanti di fiamma**, si possono formare acidi alogenidrici quali:

- acido cloridrico
- acido bromidrico



etc...contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

82

## Diffusione della contaminazione

I fumi di un incendio, per effetto dei moti convettivi, **trasportano** oltre all'energia termica **una grande quantità di aggressivi chimici**, quali ad esempio **l'acido cloridrico** (che si sviluppa tutte le volte che nella combustione sono coinvolte sostanze plastiche caricate con Cloro - es. PVC-).

In particolare **l'acido cloridrico** (HCl) è il più pericoloso per le parti metalliche dei macchinari e delle attrezzature poichè, **in presenza di umidità atmosferica** superiore al 50%, **innesca veloci fenomeni corrosivi iterativi** che portano, con il tempo, a far sì che i danni, all'inizio solo potenziali, si trasformino in danni reali.



## Emissione di fumi contaminanti

### 2) EFFETTI di corrosione dei materiali metallici

- Alterazione dello stato superficiale di parti metalliche (alterazione della rugosità)
- Creazioni di crateri o caverne che possono indurre innesco di cricche
- Alterazione delle caratteristiche dimensionali
- Distruzione dei trattamenti protettivi (cromatura, cadmiatura, nichelatura, brunitura, zincatura)
- Alterazione della bontà di contatto

### 3) ALTRI EFFETTI

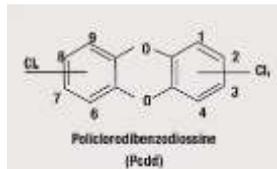
- Alterazione dell'isolamento elettrico
- Alterazione dello scambio termico
- Alterazione della costanza delle caratteristiche (componenti meteopatici)
- Inceppamenti
- Mascheramenti di danni gravi.



## Emissione di fumi contaminanti

### 1) EFFETTI dannosi per la salute dell'uomo

- Diossine ecc.



- Fibre di amianto (se presenti)



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

85

# I metodi di misurazione della contaminazione

Contaminazione da incendio e bonifica professionale

## MISURE

### Misure della contaminazione inorganica

I metodi più efficaci per misurare la contaminazione sono:

- **Metodo semiquantitativo**
- **Metodo quantitativo**



## Misure della contaminazione inorganica

### Metodo semiquantitativo

#### Come si fanno:

Indossare i guanti di lattice perchè i quick test sono molto sensibili e c'è il rischio di falsare la misura.

Si bagna la superficie del quick test con poche gocce di acqua e si appoggia il quick test sulla superficie da analizzare.

Si preme sulla superficie e si aspetta 15 / 20 secondi (tempo della reazione).

Successivamente si confrontano le macchie rilevate (da marrone vira a giallo).

**Dove fare i quick test:** Sulle superfici orizzontali esterne nei luoghi dove i fumi si sono raffreddati ossia lontano dall'incendio.

**L'inutilità delle cartine a tornasole:** sono strumenti utilizzate dai chimici per rilevare il pH delle soluzioni. La corrosione è funzione del pH ma è soprattutto funzione della conducibilità dell'elettrolita e dell'ossigeno in essa disciolto.



## Misure della contaminazione inorganica

### Metodo quantitativo

- Gli strumenti sono: guanti di lattice, carta da filtro, doppio decimetro, sacchetto di plastica sterile (con chiusura ermetica), acqua deionizzata.
- **Campionamento:** Rilevamento su superficie piana di almeno 100 cm<sup>2</sup>.
- Si prende uno o due dischi di carta da filtro si imbeve con acqua deionizzata e si spazza la superficie. I dischi vanno poi raccolti nel sacchetto sterile.
- Si prendono altri 2 dischi sterili asciutti e si asciuga la superficie oggetto del test e si inseriscono anche questi nel sacchetto sterile. Sul sacchetto va riportata in cm le dimensioni lunghezza per larghezza della superficie campionata.
- A parte va riportata il tipo e la posizione della superficie oggetto dell'analisi.



## Creazione del campione «zero»

Non conoscendo con esattezza le caratteristiche chimiche dell'acqua e delle cialde utilizzate per campionare, è importante creare un campione 0.

Prima di iniziare le misure si prendono 4 dischi di carta da filtri (dopo aver indossato i guanti) e si imbevono nell'acqua deionizzata, questi dischi si mettono in un sacchetto.

Questo sarà il **campione zero**.

Gli eventuali contaminanti trovati in questo campione andranno sottratti in quantità a quelli individuati nei campioni prelevati



## MISURE

## Obiettivo dell'indagine

- I fenomeni corrosivi sono determinati dal potenziale d'interfaccia che si genera tra il metallo e l'elettrolita.
- Il potenziale d'interfaccia a parità di metallo dipende dall'elettrolita.
- I contaminanti più pericolosi perchè generano i potenziali anodici d'interfaccia sono i seguenti:
  - Cloro
  - Bromo
  - Ossidi di zolfo
  - Ossidi di azoto
- La conducibilità dell'elettrolita, che va richiesta, oltre a determinare i tipi di anioni rilasciati dall'incendio, è importante per dare un'idea complessiva dell'aggressività dei composti rilasciati dall'incendio.
- **Conducibilità > 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  danno origine a fenomeni corrosivi molto veloci.**



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

93

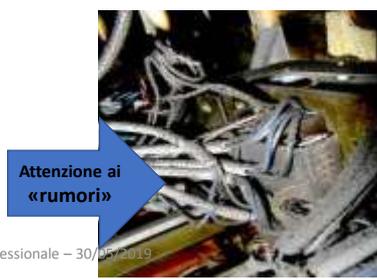
## MISURE

## Ispezione visiva

- Metodo rapido e sicuro nel caso il sopralluogo avvenga almeno a 24/48 dallo spegnimento dell'incendio. In questo caso i fenomeni corrosivi saranno evidenti sulle parti di acciaio al carbonio o ferro non verniciate o non protette da trattamenti superficiali (bromitura, cromatura ecc ...) in ogni macchina o impianto industriale l'acciaio al carbonio è uno degli elementi più utilizzati.
- Ruggine di **colore rosso** = **corrosione in atto, generata dalla contaminazione rilasciata durante l'incendio e dalle opere di spegnimento.**



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019



## Misure della contaminazione organica

### ■ Swab test

Gli strumenti sono: guanti di lattice, cotone idrofilo sterile, contenitore di vetro sterile con chiusura ermetica, doppio decimetro o maschera di campionamento, contenitore di vetro di toluene

Rilevamento su superficie piana di almeno 500 cm<sup>2</sup>.

**Creazione del campione "0":** Si prende una quantità di cotone sterile e si immerge nel toluene e poi si chiudono nel contenitore di vetro sterile.

**Il campionamento:** Si prende uno batuffolo di cotone sterile si imbeve con toluene e si spazza la superficie da campionare. Si ripete l'azione almeno 2/3 volte. I batuffoli vanno poi inseriti in un contenitore di vetro sterile e sigillati ermeticamente.

Si inviano tutti i campioni, compreso lo "0" a un laboratorio chimico attrezzato.



## Misure in aria

Le misure in aria sono effettuate da laboratori specializzati che utilizzano delle pompe che aspirano l'aria dall'ambiente.

Queste macchine, fra l'altro, sono caratterizzate dal volume di aria che esse possono aspirare nell'unità di tempo (tipicamente l'ora).

L'aria contenente i contaminati passa attraverso opportuni filtri che trattengono le particelle inquinanti.

Dall'analisi chimica delle sostanze raccolte dal filtro si determinano sia le specie chimiche intrappolate sia le loro quantità.

La concentrazione dei contaminanti viene riferita al volume totale di aria aspirata, durante il periodo di campionamento stabilito e il valore del rapporto ne rappresenta la concentrazione.



# La Corrosione

Contaminazione da incendio e bonifica professionale

Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

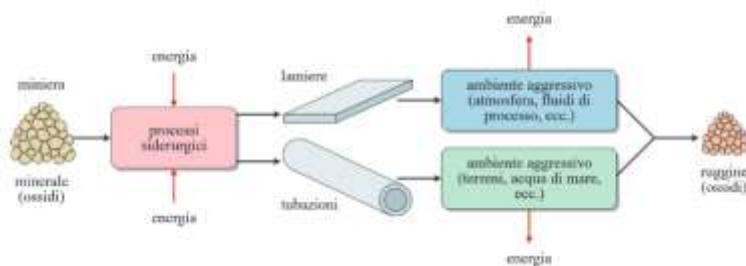
97

LA  
CORROSIONE

## L'evidenza dei fatti: la corrosione

La corrosione è il **decadimento che subiscono i materiali a contatto con ambienti diversi**.

Viene definita anche «**ANTIMETALLURGIA**», in quanto il processo di corrosione tende a riportare spontaneamente i materiali metallici allo stato in cui si trovano in natura.



Fonte: Treccani – Aspetti generali della corrosione

Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

98

## L'evidenza dei fatti: la corrosione

La **corrosione** dei metalli è un **fenomeno ineliminabile** in natura. Il 33% degli interventi di manutenzione sono finalizzati a contrastare questo fenomeno.

Allo stato naturale tutti i metalli (ad eccezione di quelli nobili) si trovano sottoforma di ossidi, idrossidi ecc... poiché lo stato energetico di tali composti è inferiore a quello del metallo puro.

**Per ottenere i metalli puri è necessario fornire energia** che porti il metallo nel suo stato di purezza che è uno stato instabile.

**Il processo di corrosione restituisce l'eccesso di energia accumulata nel processo di produzione del metallo.**



## La corrosione: impatto economico

### COSTI DIRETTI

Valore dei materiali corrosi  
Costi di rimpiazzo dei materiali corrosi  
Costi per la prevenzione

### COSTI INDIRETTI

Riduzione della vita utile del materiale  
Costi straordinari di manutenzione  
Perdita di prodotti  
Inquinamento



3/4 % del PIL nei paesi industrializzati  
6 % del PIL negli USA



## L'evidenza dei fatti: la corrosione

---

- I processi di corrosione sono costituiti da **reazioni chimiche** regolate dalle leggi della chimica / fisica e controllate dalle leggi di conservazione della materia e dell'energia.
- La velocità di evoluzione di una reazione di corrosione è influenzata dalle **condizioni al contorno** (regolate dalle leggi di termodinamica).



## Corrosione a umido

---

- Questo meccanismo avviene quando **il metallo è immerso in acqua** o è **circondato da atmosfere umide** la cui condizione termodinamica realizza fenomeni di condensazione sulla superficie del metallo.



## La corrosione ad umido: le principali forme

**GENERALIZZATA:** Interessa tutta la superficie del metallo oppure un'ampia superficie dello stesso. Si distingue fra:

- **Corrosione Uniforme**, in cui la perdita di spessore (massa) è uniforme su tutta la superficie (es: corrosione dell'acciaio esposto all'atmosfera)
- **Corrosione Disuniforme**, in cui la perdita di spessore (massa) non è uniforme su tutta la superficie



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

103

## La corrosione ad umido: le principali forme

**LOCALIZZATA:** Interessa una superficie limitata del metallo. Si distingue fra:

- **Corrosione per contatto galvanico (o bimetallica):** si verifica quando due materiali aventi differenti potenziali elettrici sono posti a contatto in presenza di ambienti aggressivi



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

104

## Serie dei potenziali pratici dei materiali

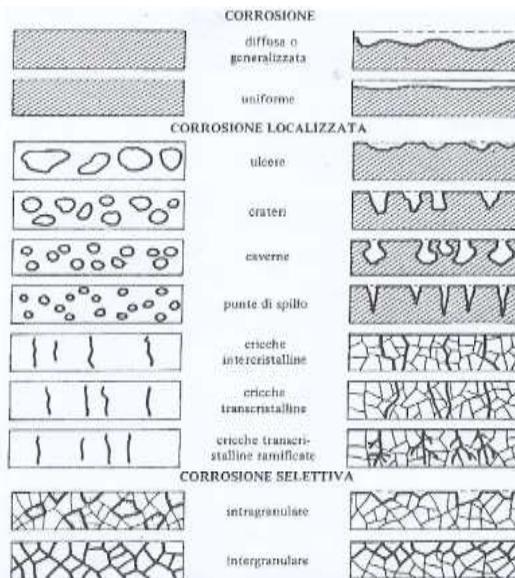
Più nobili	Grafite Titanio Acciaio inossidabile ad alto contenuto di Cr e Mo (passivo) Acciaio inossidabile 18-8-3, tipo AISI 316 (passivo) Acciaio inossidabile 18-8, tipo AISI 304 (passivo) Acciaio inossidabile 17%Cr, tipo AISI 410 (passivo) Nichel (passivo) Argento per salefame Bronzo M Bronzo G Capromichel 79-30 Capromichel 90-10 Bronzo Rame Ottone omoo Bronzo-Al Ottone anatrogliaio Ottone giallo Nichel (attivo) Ottone anatro Bronzo-Mn Metall. Mnatz
Intermedio	
Meno nobili	Stagno Piombo Acciaio inossidabile 18-8-3, tipo AISI 316 (attivo) Acciaio inossidabile 18-8, tipo AISI 304 (attivo) Acciaio inossidabile 17%Cr, tipo AISI 410 (attivo) Ghisa Acciaio per laminazione Acciaio dolce Alluminio serie 2024 Calcio Alclad Alluminio serie 6063 Acciaio zinco Zinco Magneseo

Fonte: LaQue 1975

Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

105

## La corrosione: le principali forme

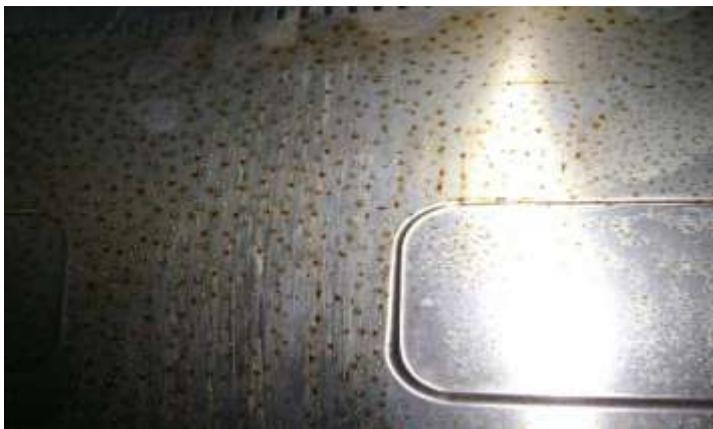


Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

106

## La corrosione ad umido: le principali forme

- **Pitting:** si manifesta come attacchi, detti pit o vaiolature, con dimensioni che variano da poche decine di micrometri ad alcuni millimetri.



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

107

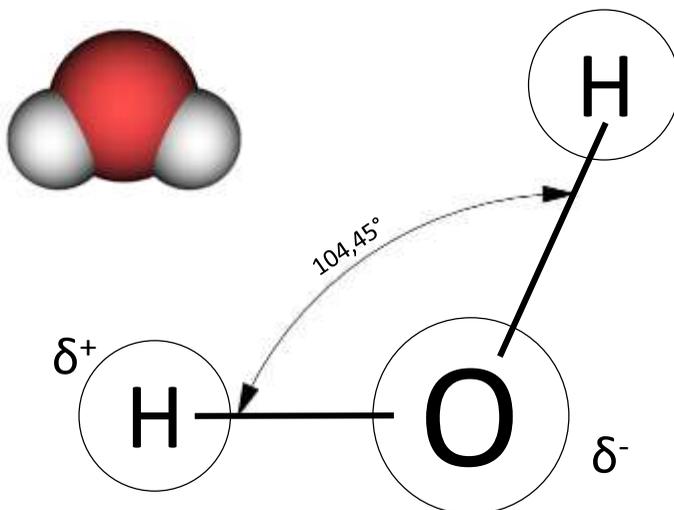
## La corrosione: il ruolo dell'acqua

- L'acciaio si corrode quando viene a contatto con **acqua contenente ossigeno disciolto**.
- Sono situazioni caratteristiche:
  - le **strutture posate nel terreno**, dove l'acqua è presente come acqua capillare
  - o di falda;
  - le **strutture immerse in acque naturali** – dolci, salmastre o di mare;
  - le **strutture esposte all'atmosfera**, in presenza di rugiada o di pioggia;
  - le **armature nelle strutture in calcestruzzo**, dove l'acqua è presente nelle porosità del cemento.
- La corrosione è invece nulla per esposizione in atmosfere secche o a fluidi anidri, come ad esempio il gas metano nelle reti di trasporto e distribuzione.

Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

108

## La molecola d'acqua



## Il pH

È la scala di misura della acidità o basicità di una soluzione.

È definito come il logaritmo decimale dell'inverso della concentrazione degli ioni idrogeno in una soluzione acquosa.

$$pH = -\log[H^+]$$



## Il pH

Sostanza	pH
Acido cloridrico (HCl) 1 M	0
Batteria acida	0,5
Succo gastrico	1,0 – 2,0
Succo dilimone	2,4
Coca Cola	2,5
Aceto	2,9
Detergente intimo antibatterico	3,5
Succo d'arancia	3,7
Birra	4,5
Pioggia acida	4,5 - 4,8
Caffè	5,0
The, pelle sana e detergente intimo lenitivo	5,5
Acqua deionizzata a 25 °C	5,5 - 6,0
Acqua ossigenata	6,2
Latte ben conservato	6,5 - 6,7
Acqua distillata a 25 °C	7,0
Saliva umana normale	6,5 – 7,5
Sangue	7,40 - 7,45
Acqua di piscina regolare	7,2 - 7,8
Acqua di mare	7,7 – 8,3
Saponi alcalini	9,0 – 10,0
Ammoniaca	11,5
Varechina	12,5
Liscivia	13,5
Iodrossido di sodio (NaOH) 1 M	14

111

## Corrosione a umido

- Le reazioni di corrosione seguono un **meccanismo elettrochimico** e sono caratterizzate da **due reazioni**:
  - **Anodica o di ossidazione**  
La reazione anodica **ossida** le specie chimiche (elementi o composti) e libera elettroni che attraverso un circuito elettricamente conduttivo giungono al catodo.
  - **Catodica o di riduzione**  
La reazione catodica utilizza gli elettroni rilasciati per **ridurre** le specie chimiche (elementi o composti) in prossimità del catodo.

# Potenziale elettrochimico di reazioni

Tabella di reazioni elettrochimiche per alcuni processi a 25°C

Reazione elettrochimica	E <sup>pot</sup> (V) eq	Reazione elettrochimica	E <sup>pot</sup> (V) eq
<b>Ambiente neutro (pH = 7)</b>			
$O_2 + 4H^+ + 2e \rightleftharpoons 2H_2O$	+1.23	$O_2 + H^+ + 2e \rightleftharpoons O_2H^-$	+1.654
$Al(OH)_3 + 3e \rightleftharpoons Al + 3OH^-$	-1.94	$S_2O_8^{2-} + 2e \rightleftharpoons 2SO_4^{2-}$	+2.05
$TiO_2 + 2H_2O + 4e \rightleftharpoons Ti + 4OH^-$	-1.27	$F_2 + 2e \rightleftharpoons 2F^-$	+2.85
$FeS + 2e \rightleftharpoons Fe + S^{2-}$	-1.00		
$Cr(OH)_3 + 3e \rightleftharpoons Cr + 3OH^-$	-0.886	<b>Ambiente acido (pH = 0)</b>	
$Zn(OH)_2 + 2e \rightleftharpoons Zn + 2OH^-$	-0.85	$2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_2$	± 0.00
$Fe(OH)_2 + 2e \rightleftharpoons Fe + 2OH^-$	-0.460	$Fe^{3+} + e \rightleftharpoons Fe^{2+}$	+0.771
$H^+ + H_2O + 2e \rightleftharpoons H_2 + OH^-$	-0.414	$NO_2^- + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons HNO_2 + H_2O$	+0.94
$Cl_2(OH)_2 + 2e \rightleftharpoons Cl_2 + 2OH^-$	-0.395	$NO_2^- + 4H^+ + 3e \rightleftharpoons NO + 2H_2O$	+0.96
$Co(OH)_2 + 2e \rightleftharpoons Co + 2OH^-$	-0.316	$ClO_2^- + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons HClO_2 + H_2O$	+1.21
$Fe_2O_3 + H_2O + 2e \rightleftharpoons 2FeO + 2OH^-$	-0.311	$O_2 + 4H^+ + 4e \rightleftharpoons 2H_2O$	+1.229
$Ni(OH)_2 + 2e \rightleftharpoons Ni + 2OH^-$	-0.306	$Cu_2O^{2-} + 14H^+ + 4e \rightleftharpoons 2Cu^{2+} + 7H_2O$	+1.33
$Fe(OH)_2 + 2e \rightleftharpoons Fe(OH)_2 + OH^-$	-0.346	$PbO_2 + 4H^+ + 2e \rightleftharpoons Pb^{2+} + 2H_2O$	+1.655
$PbO + H_2O + 2e \rightleftharpoons Pb + 2OH^-$	-0.131	$Mn^{3+} + e \rightleftharpoons Mn^{2+}$	+1.51
$Cu_2O + H_2O + 2e \rightleftharpoons 2Cu + 2OH^-$	+0.056		
$CuO + H_2O + 2e \rightleftharpoons Cu + 2OH^-$	+0.156		
$Cu(OH)_2 + 2e \rightleftharpoons Cu + 2OH^-$	+0.19		
$AgCl + e \rightleftharpoons Ag + Cl^-$	+0.22	<b>Ambiente alcalino (pH = 14)</b>	
$O_2 + 2H_2O + 2e \rightleftharpoons H_2O_2 + 2OH^-$	+0.268	$Mg(OH)_2 + 2e \rightleftharpoons Mg + 2OH^-$	-2.69
$Hg_2Cl_2 + 2e \rightleftharpoons 2Hg + 2Cl^-$	+0.27	$HAlO_2 + H_2O + 3e \rightleftharpoons Al + 3OH^-$	-2.35
$Fe(CN)_6^{3-} + e \rightleftharpoons Fe(CN)_6^{4-}$	+0.36	$Mn(OH)_2 + 2e \rightleftharpoons Mn + 2OH^-$	-1.51
$Mn(OH)_2 + e \rightleftharpoons Mn(OH)_2 + OH^-$	+0.314	$2H_2O + 2e \rightleftharpoons H_2 + 2OH^-$	-0.828
$I_2 + 2e \rightleftharpoons 2I^-$	+0.334	$FeCO_3 + 2e \rightleftharpoons Fe + CO_3^{2-}$	-0.756
$CoCl + 4OH^- + 2e \rightleftharpoons Co(OH)_2 + 3OH^-$	+0.550	$CrO_2 + H_2O + 2e \rightleftharpoons CrO_2 + 2OH^-$	+0.31
$O_2 + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons 2OH^-$	+0.815	$CrO_2 + H_2O + 2e \rightleftharpoons CrO_2 + 2OH^-$	+0.36
$H_2 = 2e + 2H^+$	+0.99	$O_2 + 2H_2O + 4e \rightleftharpoons 4OH^-$	+0.401
$MeO_2 + 2H_2O + 3e \rightleftharpoons Me_2O + 4OH^-$	+1.140	$ClO_2 + H_2O + 2e \rightleftharpoons ClO_2 + 2OH^-$	+0.66
$H_2O_2 + 2e \rightleftharpoons 2OH^-$	+1.324	$O_2 + H_2O + 2e \rightleftharpoons O_2 + 2OH^-$	+1.24
$Cl_2 + 2e \rightleftharpoons 2Cl^-$	+1.36		

# Sensibilita' dei metalli agli ambienti corrosivi

Contaminazione alla corrosione di alcuni metalli sensibili

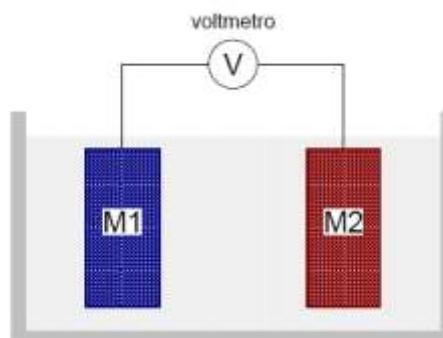
MATERIE E AMBIENTI	AMBIENTE				AMBIENTE				AMBIENTE			
	Atmosfera	Acqua	Terreno	Substrato	Atmosfera	Acqua	Terreno	Substrato	Atmosfera	Acqua	Terreno	Substrato
1. Cloruro di sodio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2. Cloruro di calcio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3. Cloruro di magnesio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4. Solfato di sodio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5. Solfato di calcio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6. Solfato di magnesio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7. Nitrato di sodio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8. Nitrato di calcio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9. Nitrato di magnesio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10. Fosfato di sodio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11. Fosfato di calcio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12. Fosfato di magnesio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13. Solfato di potassio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14. Solfato di ammonio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15. Solfato di sodio e calcio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16. Solfato di sodio e magnesio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17. Solfato di sodio e potassio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18. Solfato di sodio e ammonio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19. Solfato di sodio e calcio e magnesio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20. Solfato di sodio e calcio e potassio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21. Solfato di sodio e calcio e ammonio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22. Solfato di sodio e calcio e potassio e ammonio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23. Solfato di sodio e calcio e potassio e ammonio e magnesio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24. Solfato di sodio e calcio e potassio e ammonio e magnesio e potassio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

## Corrosione e potenziale elettrico

- Quando un materiale metallico (conduttore elettrico) è messo a contatto con un elettrolita (conduttore ionico), all'interfaccia tra metallo e elettrolita, **si instaura una differenza di potenziale elettrico** tra le due specie.
- Questa differenza di potenziale elettrico non può essere misurata in valore assoluto ma rispetto ad un altro sistema di metallo (diverso dal primo) più elettrolita.



## Dispositivo per la misura del potenziale



## Elettrodi di riferimento

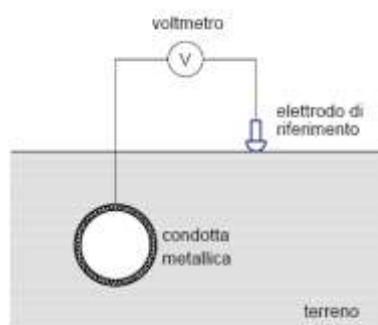
- Per convenzione, in chimica vengono utilizzati i seguenti elettrodi di riferimento:

Elettrodo di riferimento	descrizione	semireazione	E, V vs. NHE
standard a idrogeno (NHE)	$H_2(1 \text{ atm})   H^+(a=1)$	$2H^+ + 2e^- = H_2$	0
calomelano	$Hg   Hg_2Cl_2, KCl \text{ (sat)}$	$Hg_2Cl_2 + 2e^- = 2Hg + 2Cl^-$	+ 0,244
argento/cloruro di argento (0,1M)	$Ag   AgCl, KCl (0,1M)$	$AgCl + e^- = Ag + Cl^-$	+ 0,288
argento/argento cloruro/acqua mare	$Ag   AgCl, \text{acqua mare}$	$AgCl + e^- = Ag + Cl^-$	+ 0,250
rame/solfato di rame saturo	$Cu   CuSO_4 \text{ (sat)}$	$Cu^{2+} + 2e^- = Cu$	+0,318
zinco/acqua di mare	$Zn   \text{acqua di mare}$	reazione di corrosione	- - 0,80

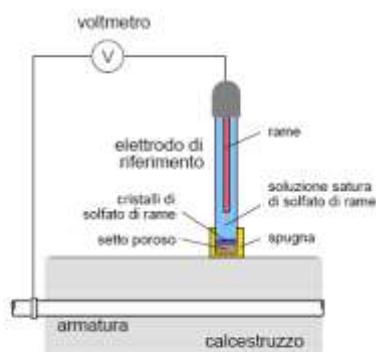


## Elettrodi di riferimento

- Sistema di misura del potenziale di corrosione di una condotta interrata (a), delle armature nel calcestruzzo (b)



(a)



(b)

## I potenziali di equilibrio di alcune reazioni chimiche

- Perchè si misurano:
  1. Ioni cloro
  2. Bromo
  3. Ossidi di zolfo e ossidi azoto
  4. Conducibilità elettrica dell'elettrolita
  
- Perchè gli ioni di cloro, ossidi di zolfo e ossidi di azoto hanno un **potenziale equivalente elevato** (maggiore dei metalli), questi elementi inducono una corrosione importante.



## Quando si realizzano le reazioni di corrosione

- Quando il potenziale di equilibrio della semi reazione catodica ( $E_{eqc}$ ) è maggiore del potenziale di equilibrio della semi reazione anodica ( $E_{eqa}$ ).
  
- In questo caso la reazione di riduzione catodica forza la reazione di ossidazione anodica a fornire ad essa elettroni affinché la reazione di riduzione possa aver luogo.



## Due esempi...

- **Soluzione acquosa acida deareata e Rame (Cu).**

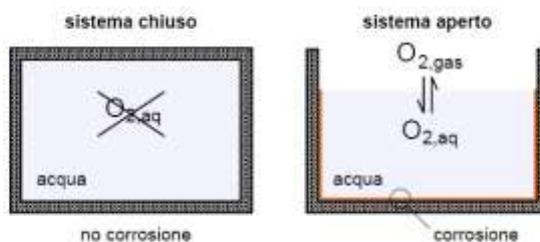
- Reazione anodica:
- Il potenziale di equilibrio  $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^- = + 0,34 \text{ Volt}$
- Reazione catodica:
- Il potenziale di equilibrio  $2\text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 = 0 \text{ Volt}$
- **Il rame non si corrode.**

- **Soluzione acquosa acida areata e Rame (Cu).**

- Reazione anodica:
- Il potenziale di equilibrio  $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^- = + 0,34 \text{ Volt}$
- Reazione catodica:
- $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
- Con un potenziale di equilibrio  $+ 1,23 \text{ Volt}$
- **Il rame si corrode.**



## Corrosione in un sistema chiuso ed in un sistema aperto



## Velocità di corrosione e corrente elettrica

- I fenomeni elettrocorrosivi generano una corrente la cui intensità riferita all'unità di area (densità di corrente) dà una misura della velocità con cui un metallo si corrode.
- La velocità di corrosione dipende dalla mobilità ionica nell'elettrolita la cui misura è data dalla sua conducibilità elettrica.
- La mobilità degli elettroni fra anodo e catodo è elevata ed è garantita dalla conducibilità elettrica del metallo.



## Velocità di corrosione e corrente elettrica

- La **relazione** che unisce la **velocità di corrosione** alla **densità di corrente** generata all'anodo è la seguente:

$$V_c = \frac{J_{ac} * P_{am}}{F * n * \gamma}$$

- Dove:

$V_c$  = velocità di corrosione in millimetri anno se  $J_{ac}$  espressa in A/m<sup>2</sup>

$P_{am}$  = peso atomico espresso in g/mol

$F$  = equivalente di Faraday pari a 96485 C/mol

$n$  = numero di elettroni liberati dall'ossidazione di un atomo di metallo

$\gamma$  = peso specifico del metallo in g/cm<sup>3</sup>



## Velocità di corrosione e corrente elettrica

$$V_c = \frac{J_{ac} * P_{am}}{F * n * \gamma}$$

$$V_c = \frac{0,3268 * J_{ac} \left[ \frac{A}{m^2} \right] * P_{am} \left[ \frac{g}{mole} \right]}{n * \gamma \left[ \frac{g}{cm^3} \right]}$$

- La velocità di corrosione  $V_c$  viene espressa in **millimetri anno**.
- Es\_1. Velocità di corrosione del ferro a fronte di una densità di corrente anodica di  $1 \text{ A/m}^2$  :
  - Reazione di ossidazione  $\text{Fe} = \text{Fe}^{++} + 2e^-$  quindi  $n=2$
  - Peso atomico del ferro:  $55,84 \text{ g/mole}$
  - Peso specifico del ferro:  $7,85 \text{ g/cm}^3$
  - $V_c = (0,3268 * 1 * 55,84) / (2 * 7,85) = 1,15 \text{ mm/anno}$
- La perdita di massa avviene su una superficie di  $1 \text{ m}^2$  (la densità di corrente è riferita al  $\text{m}^2$ ), per cui il volume di ferro corroso è pari a  $1,15 \text{ mm} * 1 \text{ m}^2$  che corrisponde a  $0,115 \text{ cm} * 10.000 \text{ cm}^2 = 1.150 \text{ cm}^3$  che moltiplicati per  $7,85$  danno una perdita di massa di  $9 \text{ kg}$ .



## Velocità di corrosione e corrente elettrica

- Es\_2. Velocità di corrosione del rame a fronte di una densità di corrente anodica di  $1 \text{ A/m}^2$  :
- Reazione di ossidazione  $\text{Cu} = \text{Cu}^{++} + 2e^-$  quindi  $n=2$ 
  - Peso atomico del rame:  $63,546 \text{ g/mole}$
  - Peso specifico del rame:  $8,93 \text{ g/cm}^3$
  - $V_c = (0,3268 * 1 * 63,546) / (2 * 8,93) = 1,13 \text{ mm/anno}$



## Perdita di massa (rame)

$i_{an}$	perdita di massa		penetrazione	
	/dm <sup>2</sup> min	/m <sup>2</sup> h	/h	/anno
1 A/cm <sup>2</sup>	1,98 g	11,88 kg	1,33 mm	11,63 m
1 mA/cm <sup>2</sup>	1,98 mg	11,88 g	1,33 μm	11,63mm
1 μA/cm <sup>2</sup>	1,98μg	11,88 mg	13,3 Å	11,63 μm
0,01 μA/cm <sup>2</sup>	0,0198 μg	0,119 mg	0,13 Å	0,12 μm

Peso specifico pari a 8,93 g su cm<sup>3</sup>

$n=2$

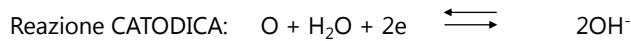
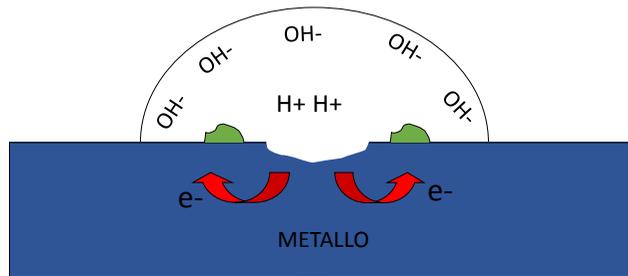
Å = 10<sup>-10</sup>m oppure 10<sup>-4</sup> μm

La densità di corrente 1A /m<sup>2</sup> è bassissima



## Il meccanismo di corrosione Incendio/Bagnamento

■ Da Acqua con aerazione differenziata

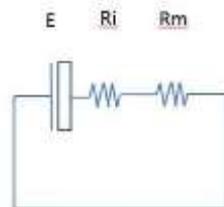


## Circuito elettrico equivalente della corrosione

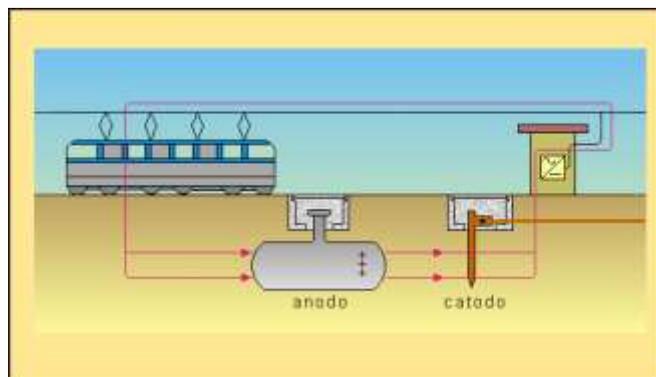
$E$  = tensione a vuoto della batteria equivalente che dipende, a parità di ogni altra condizione, dall'Elettrolita

$R_i$  = resistenza interna ed equivalente della batteria, dipende, a parità di ogni altra condizione, dall'Elettrolita

$R_m$  = resistenza elettrica del metallo sotto corrosione. È assolutamente trascurabile rispetto a  $R_i$  e può essere considerata pari a 0



## Corrosione da energia elettrica



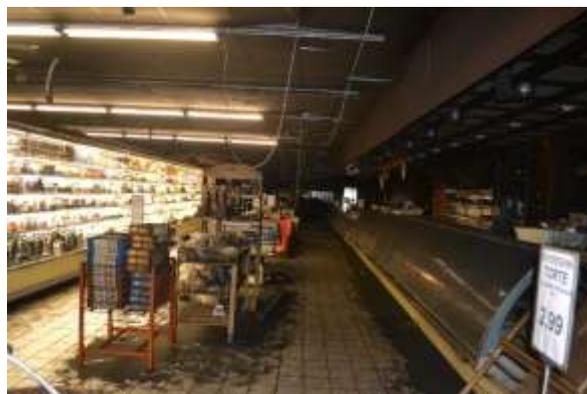
# Decisioni rapide

Analisi di casi

Arch. Marco Porfiri

Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

131



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

132



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

133



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

134



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

135



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

136



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

137



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019





Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

139

## **Stabilizzazione del sinistro (protezione temporanea)**

Contaminazione da incendio e bonifica professionale

Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

140

## Il Salvataggio: perché?

- DANNO DA INCENDIO

### ✓ **Corrosione**

Fuliggine e sostanze chimiche, mescolandosi con l'umidità dell'aria e in presenza dell'acqua di spegnimento delle fiamme danno origine ad acidi (ad es. acido cloridrico) altamente corrosivi.



## Il Salvataggio: perché?

- DANNO DA BAGNAMENTO

### ✓ **Corrosione**

I metalli si corrodono ad una velocità esponenziale rispetto alla norma

### ✓ **Degrado**

I materiali igroscopici (legno, pellami, tessuti, ecc.), assorbendo acqua, si degradano.

Le attività produttive che devono avvenire in ambiente ad umidità controllata, devono interrompersi per un periodo indeterminato.

Le materie prime e i prodotti finiti che temono l'umidità, anche se non si sono bagnate direttamente, in breve tempo si degradano.

Un ambiente umido è ideale per una rapida proliferazione di muffe e batteri, in particolare se l'acqua che ha provocato il danno non è pulita.



## Il Salvataggio: di cosa?

Tendenzialmente di tutto (purchè **NON** irreversibile) !



## Il Salvataggio: quando?

?

- Il più velocemente possibile
- Con decisioni rapide ed un intervento mirato



## Il Salvataggio: perché?

Azione di salvataggio

Diminuzione del Danno

Rapida ripresa dell'attività



## Usiamo le tecniche!

Uno dei **nemici principali da combattere** per non fare lievitare i danni e permettere una rapida ripresa dell'attività in caso di danno è **l'umidità**.

Pertanto la deumidificazione è uno dei sistemi più efficaci per le attività di salvataggio.

Dopo un **incendio**:

- stop corrosione da acido cloridrico o equivalenti
- creazione di ambienti provvisori sani ove trasferire la merce sana

Dopo un **bagnamento**:

- asciugatura rapida di contenuti e strutture
- eliminazione dell'umidità da macchinari



PROTEZIONE

## Stop corrosion

- Con questa tecnica vengono creati dei microambienti di aria pulita e deumidificata attorno ai materiali o agli impianti per inibire i fenomeni corrosivi e di degrado.
- La velocità di corrosione tende asintoticamente a zero al tendere a zero del valore dell'umidità relativa.
- La velocità di corrosione può essere ritenuta pressoché nulla quando l'umidità relativa dell'atmosfera che circonda il bene contaminato è minore del 20% e la temperatura minore di 30°C.



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

147



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019



PROTEZIONE

## Teoria della deumidificazione

### 1) Terminologia

- Umidità assoluta
- Umidità relativa e temperatura, come vengono correlate
- Il diagramma psicrometrico

### 2) Sistemi per la deumidificazione

### 3) Dimensionamento del sistema di deumidificazione

- Come utilizzare il diagramma psicrometrico



## Umidità Relativa (UR%)

- E' il rapporto tra la pressione del vapore esistente nell'aria e la pressione di saturazione alla stessa temperatura
- Il rapporto tra quanta umidità c'è nell'aria e quanta umidità l'aria è in grado di contenere
- Si esprime in percentuale ed è sempre in relazione ad una data temperatura.



## Umidità Assoluta e/o specifica (x)

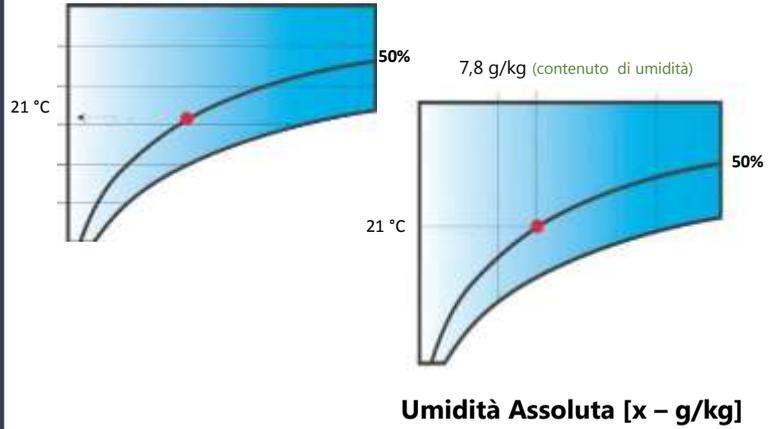
- È il contenuto effettivo di acqua allo stato di vapore, presente in un kg di aria.
- Si definisce "**assoluta**" perché è un valore a sè stante, che non varia al variare della temperatura (se questa variazione non oltrepassa la curva di saturazione).
- Si esprime in **grammi su kilogrammo [g/kg]**.



PROTEZIONE

## Grandezze dell'aria umida

Temperatura Bulbo secco [ts - °C]

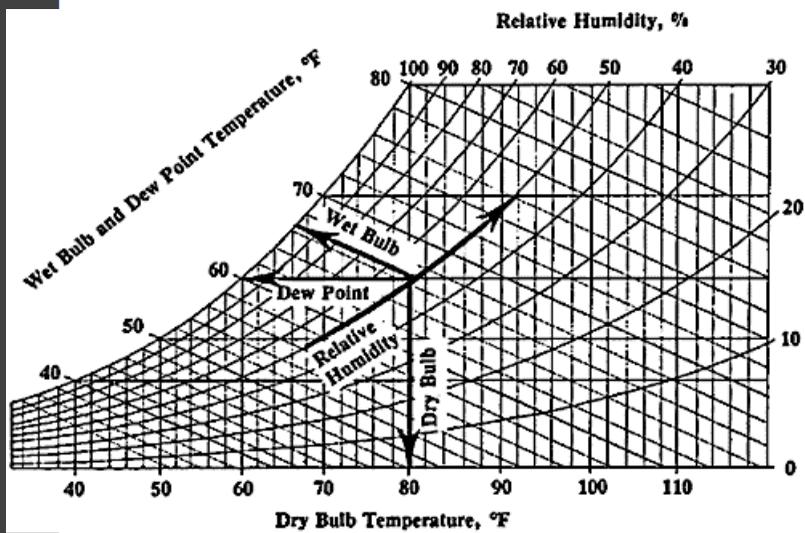


Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

153

PROTEZIONE

## Il Diagramma Psicrometrico



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

154

## Salvataggio dei danni potenzialmente reversibili

### PROTEZIONE TEMPORANEA

- Si ottiene mediante lo spruzzaggio di olii filmanti.

Questo metodo non garantisce la "stop corrosion" perché: la penetrazione dell'olio è inferiore a quella dei fumi o dei liquidi sotto battente.

- Non è applicabile alla protezione di apparati elettrici/elettronici.



## Salvataggio con protezione temporanea di olii filmanti

### Quando è necessario spruzzare olio?

- quando l' H.R. > 50% la velocità di corrosione dei metalli cambia da proporzionale a esponenziale in funzione dello scorrere del tempo;
- quando è indisponibile l'energia elettrica
- quando i beni da proteggere hanno geometrie semplici
- quando non vi sono materiali sensibili agli olii protettivi (gomme e parti elettriche elettroniche)
- quando le opere civili hanno subito gravi danni (ad es. copertura gravemente danneggiata, ecc..)

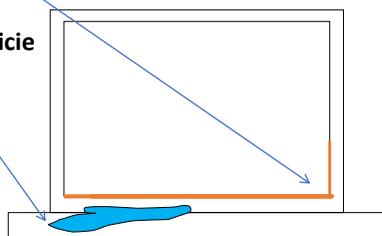


## Casi pratici della deumidificazione in ambito civile

- Localizzazione del bagnamento

a) Bagnamento in superficie

b) Bagnamento sotto la superficie



## Casi pratici della deumidificazione in ambito civile: come favorire l'asciugatura

- Sistema a circuito chiuso

- **Metodi consigliati:**

- - Deumidificazione ad assorbimento
- - Deum. condensazione > 20°C
- - Riscaldamento > 20°C + ventilazione



## Casi pratici della deumidificazione in ambito civile

- Sistema a circuito aperto
- **Metodi consigliati:**
  - - Deumidificazione ad assorbimento
  - - Microonde + ventilazione.



## Salvataggio con olii filmanti

Analisi di casi

Arch. Marco Porfiri







2019

165



2019



166



## Spruzzaggio di olii





169

## PROTEZIONE

### Salvataggio in un'industria: norme generali

- Mettere in sicurezza le aree minacciate da crolli.
- Impedire l'accesso nell'area danneggiata.
- Mettere in sicurezza contro lo scarico nell'ambiente di liquidi inquinanti (anche da di lavaggio da pioggia)
- Togliere tensione ed assicurarsi contro riaccensioni accidentali.
- Staccare tutte le alimentazioni di emergenza (batterie tampone, gruppi di continuità, ecc.).
- Spegnerne impianti di condizionamento aria, gas, vapore, aria compressa, ecc.
- Non fare alcun test funzionale di macchine o apparecchiature.
- Applicare le norme specifiche per il tipo di danno.



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

170

## Salvataggio in un'industria: danno da incendio

- **Norme di buon senso**
  - Far evacuare i fumi (aprire finestre, porte, ecc.).
  - Rimuovere l'acqua di estinzione dappertutto, senza trascurare cantine, cunicoli, ecc.
  - Rimuovere oggetti bagnati (mobilio, tende, moquette, merci, ecc.).
  - Proteggere le zone non contaminate da contaminazione secondaria proveniente dalle zone contaminate (setti di separazione, limitazione circolazione aria, stacci a terra nelle zone di passaggio, ecc.).
  - Spostare le apparecchiature portatili in area secca non contaminata.



## Salvataggio con protezione temporanea di olii filmanti

### Procedure tecniche

- Per i macchinari, abbassare subito l'umidità relativa sotto il 30% per ridurre la velocità di corrosione (eventualmente, realizzando "involucri" chiusi in cui insufflare aria secca); usare deumidificatori ad assorbimento chimico.
- In alternativa, applicare oli protettivi sulle superfici metalliche esposte per ridurre la corrosione (non applicabile per l'elettronica).



## Salvataggio in un'industria: danno da bagnamento

- **Norme di buon senso**
- Staccare le schede con batterie tampone.
- Proteggere i beni con coperture, barriere, ecc. fintantoché l'acqua sta ancora scorrendo.
- Rimuovere oggetti bagnati (arredi, tende, moquette, merci, ecc.).
- Asciugare con stracci i beni danneggiati (macchine, apparecchiature, beni a magazzino, pareti, soffitti, ecc.).
- Asciugare con stracci e/o aspiratori tutti gli ambienti, senza trascurare cantine, cunicoli, ecc.
- **Asciugare con aria macchine ed apparecchiature, evitando però flussi eccessivi d'aria secca su parti elettroniche secche (scariche elettrostatiche)**



## Salvataggio in un'industria: danno da bagnamento

- **Procedure tecniche**
- **Installare deumidificatori d'aria nell'ambiente.**
- Per le parti meccaniche, applicare oli protettivi sulle superfici metalliche esposte per ridurre la velocità di corrosione.



## Salvataggio in un'industria: danno da polveri o polvere di estinzione

- Se possibile, non utilizzare le apparecchiature elettroniche: a causa della ridotta dissipazione del calore possono prodursi surriscaldamenti.
- Spegnerne i macchinari sensibili alla polvere: contaminanti con una struttura cristallina possono aumentare l'usura o provocare abrasioni.
- Non rimuovere schede elettroniche per evitare il rischio di abrasioni sui contatti.
- Rimuovere oggetti bagnati (arredi, tende, moquette, prodotti, ecc.).
- Per polveri di estinzione, mantenere l'ambiente secco per prevenire fenomeni corrosivi.
- Sigillare ed asciugare le macchine coinvolte, per evitare reazioni chimiche.



## Il Danno (sinistro)

Contaminazione da incendio e bonifica professionale

## Rilascio di energia termica

- L'energia termica viene trasmessa secondo **tre** modalità:

### ➤ Irraggiamento

L'irraggiamento è responsabile di danni termici a tutti i beni situati in vista della fiamma.

### ➤ Convezione

La convezione (fumi) è responsabile dei danni termici a quote elevate rispetto a quella del focolaio (indicativamente oltre 2-3 metri dalla quota di origine dell'incendio).

### ➤ Conduzione

La conduzione è responsabile dei danni di beni a contatto con sorgente di calore.



## Osservare i danni

### DANNI IRREVERSIBILI

sono normalmente limitati in estensione e sono associati all'energia rilasciata dal sinistro.

- ENERGIA MECCANICA (acqua)
- ENERGIA TERMICA (incendio)
- PILE tra metalli diversi (acqua)
- CORROSIONE ELETTROLITICA (acqua + alimentazione elettrica)

### DANNI POTENZIALMENTE REVERSIBILI

sono estesi e sono associati ai contaminanti rilasciati dal sinistro.

- GAS CORROSIVI
- FULIGGINE
- FANGHI
- SABBIE
- VEICOLAZIONE DELLO SPORCO di produzione



IL SINISTRO

## Danno irreversibile (fisico o statico)

Il danno IRREVERSIBILE è concentrato in un'area limitata e può essere risolto solo con la sostituzione del bene o della parte colpita. Un danno può diventare irreversibile qualora non siano messe in atto le misure di salvataggio.



Es. Il rilascio di energia può indurre danni durevoli o irreversibili.



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

179

IL SINISTRO

## Danno potenzialmente reversibile (danno chimico o dinamico)

Il danno POTENZIALMENTE REVERSIBILE è normalmente molto esteso e può essere risolto con il risanamento, purché condotto in tempo utile, del bene.

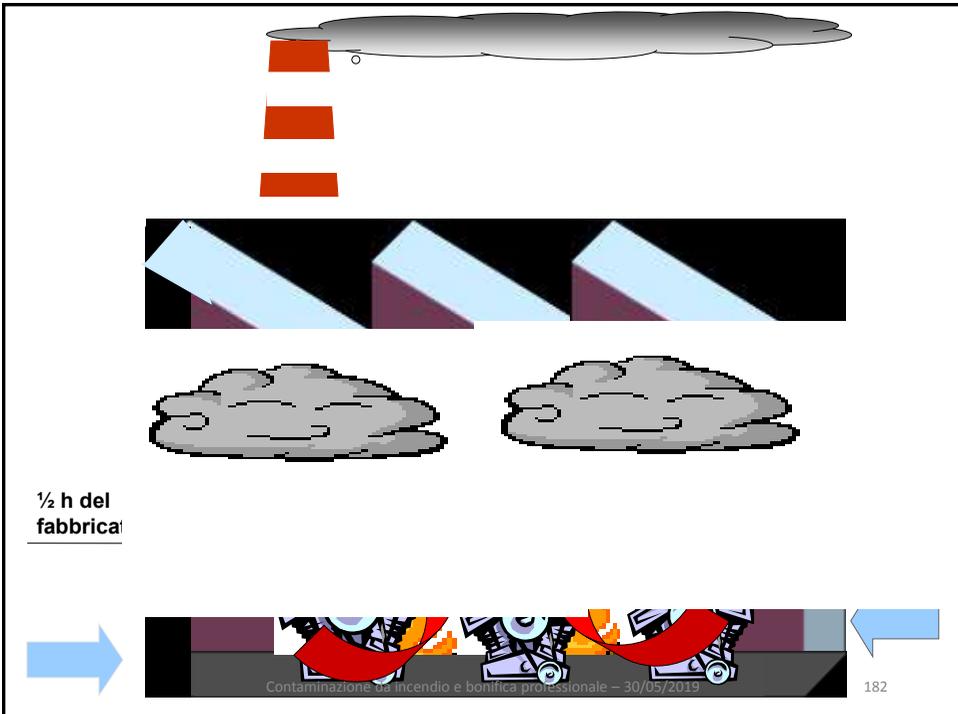
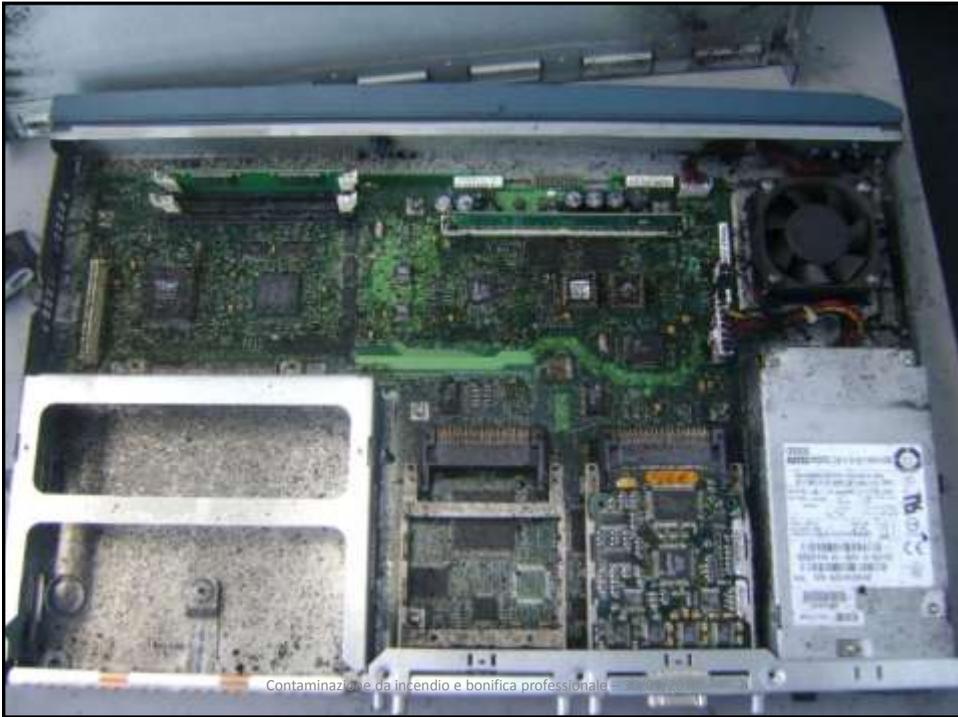


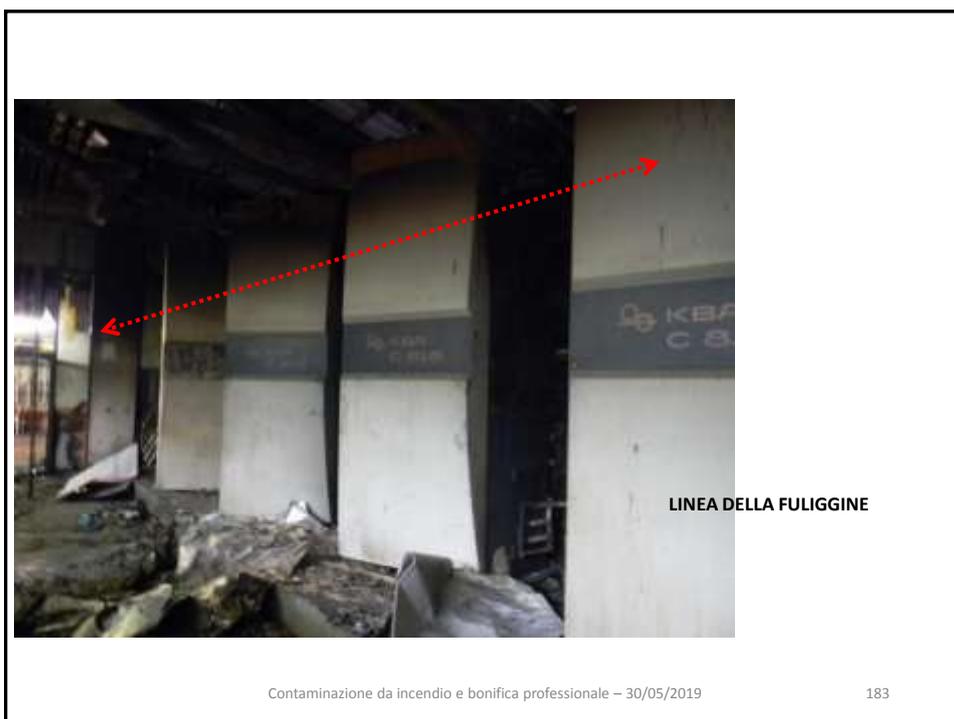
Es. Il rilascio di contaminazione provoca danni potenzialmente reversibili.



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

180





**IL SINISTRO**

## Temperature critiche per le plastiche usate in elettronica

Plastica	Temper. massima ammessa	Temper. per uso continuo	Applicazione
Stirene-butadiene	60-80	50-70	Interruttori, connettori
PVC plastico	55-65	50-55	Cavi, condotti
Polistirene	100	70-85	Carcasse, tastiere, telefoni, interruttori
Polimetilmetacrilato (PMMA)	85-100	60-90	Coperture lampade e strumenti di misura
Polietilene	80-90	60-75	Cavi, carcasse, tastiere
Acrilnitrile-butadiene-stirene copolimero	85-105	75-95	Coperture strumenti di misura
Resina melamminica	100-120	70-80	Materiale di base per circ. stampati.
Resina epossidica	180	130	Isolanti per tecnologia di potenza

Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019 184

# Intervento in uno stabilimento di produzione alimentare

Analisi di casi

Arch. Marco Porfiri

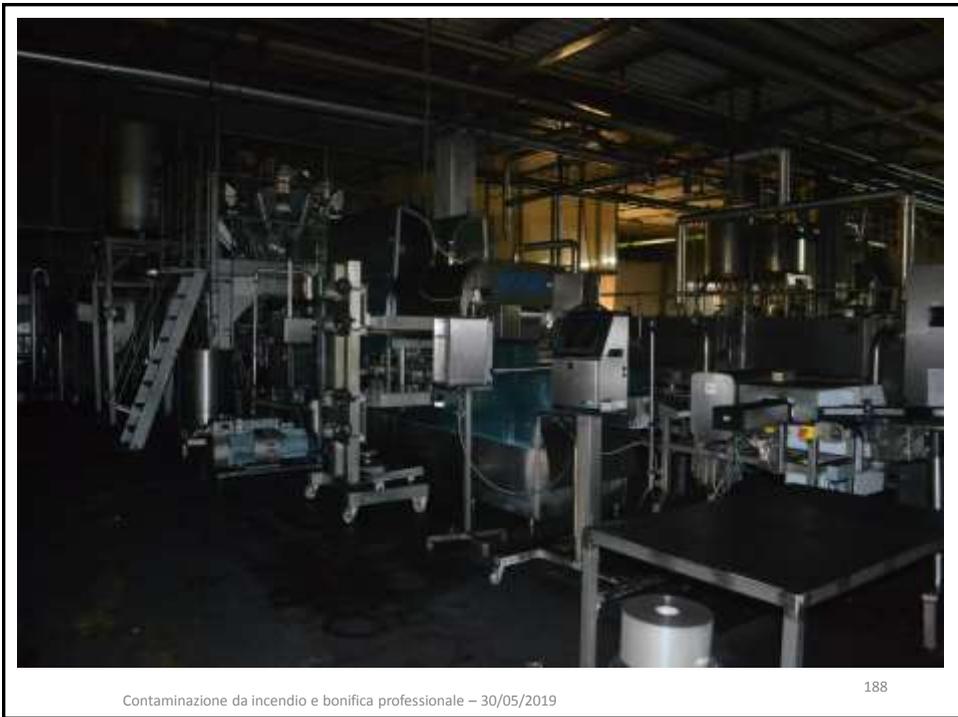
Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

185





Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

188



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

190

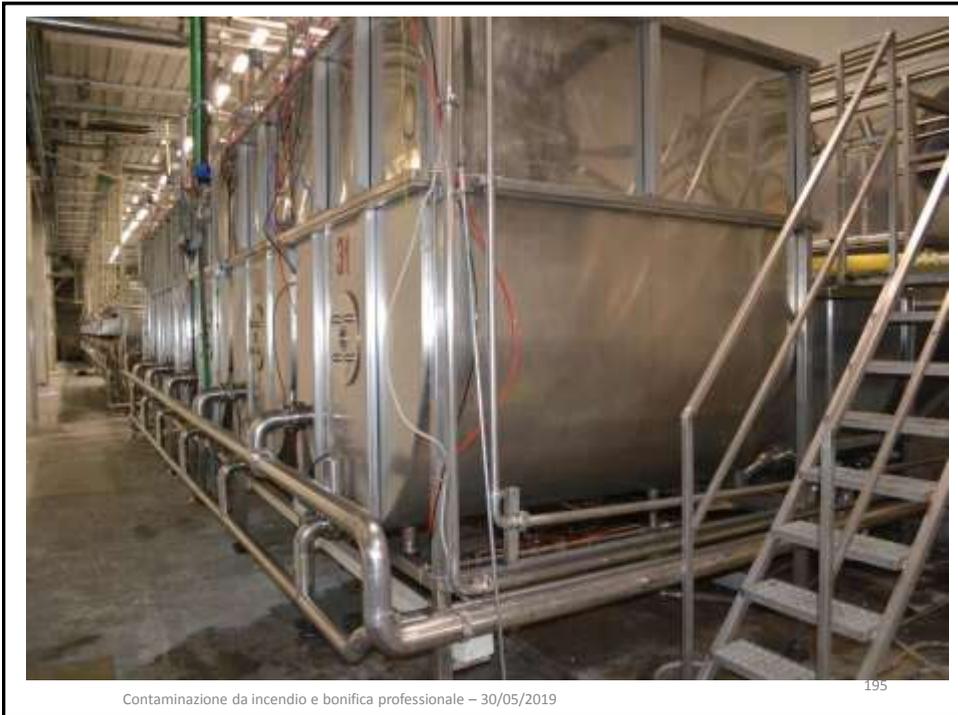


Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019





Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

195



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

196



Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

197

# La Bonifica

Contaminazione da incendio e bonifica professionale

Contaminazione da incendio e bonifica professionale – 30/05/2019

198

## La differenza tra pulizia e bonifica: la PULIZIA

---

La pulizia superficiale è la rimozione di tutto il **materiale visibile ad occhio nudo** (fuliggine, polvere, etc.) presente, a seguito di un incendio, su tutte le superfici direttamente esposte e non di fabbricato, macchinari e merci.



## La differenza tra pulizia e bonifica: la BONIFICA

---

Per bonifica si intende la **procedura che abbia come fine la riduzione della contaminazione** causata dalla grande quantità di aggressivi chimici trasportata dai fumi dell'incendio.



## La differenza tra pulizia e bonifica: la BONIFICA

- **Prodotti inorganici.** Nel caso in cui le plastiche siano caricate con composti alogenici ritardanti la fiamma, si formano acidi quali:
  - acido cloridrico: il più pericoloso per le parti metalliche costituenti le macchine perché, in presenza d'umidità atmosferica maggiore del 50%, innesca fenomeni corrosivi iterativi che portano, con il tempo, a far sì che i danni, all'inizio solo potenziali, si trasformino in danni reali
  - acido bromidrico
  - ...

Tali sostanze possono danneggiare in modo irreversibile i macchinari e gli impianti.

- **Prodotti organici,** quali ad esempio
  - IPA (idrocarburi policiclici aromatici)
  - PCB (bifenili policlorurati)
  - microcontaminanti organici (diossine) e particolato conduttivo (fuliggine); queste sostanze, che non intaccano e non danneggiano l'impiantistica, sono invece molto nocive per la salute dell'uomo.



## La differenza tra pulizia e bonifica: la BONIFICA

La bonifica post sinistro, eliminando un fattore di contaminazione "esogeno" all'attività produttiva, riporta l'ambiente di lavoro nei parametri di previsti dalle leggi vigenti e dalle norme di buona tecnica :

- **Macchinari ed Impianti:** il corretto funzionamento di impianti e macchinari è garantito nel tempo dai **valori di soglia precedentemente elencati** per le diverse tipologie di componenti. Nel caso di apparecchiature che hanno una vita ed un tasso di guasto progettati (es. apparecchiature elettroniche) le procedure di risanamento non devono alterare questi due parametri.
- **Salute delle Persone:** i livelli di salubrità sono quelli a cui fanno riferimento le normative per i singoli ambienti in cui ha avuto luogo il sinistro (v. D. Lgs 81/2008). Tale decreto legislativo prescrive misure per la tutela della salute e per la sicurezza dei lavoratori in tutti i settori di attività privati o pubblici. In base alle norme di legge, il datore di lavoro ha l'obbligo di identificare i fattori di rischio per la salute dei lavoratori legati alle loro specifiche attività e di prendere le adeguate contromisure.



## Tecniche, procedure e prodotti

La bonifica si base su tecniche specifiche, procedure testate e fa uso di prodotti spesso certificati in laboratori di ricerca.

A seconda della casistica di danno (incendio, bagnamento, allagamento, contaminazione da fuliggine, ... ), della sua gravità ed estensione, dell'oggetto della bonifica (ad esempio locali ad uso industriale o residenziale, impianti , apparecchiature elettroniche, singoli macchinari o linee di produzione, ... ), si applicano delle tecniche e delle procedure specifiche affinché nel rispetto dell'ambiente, della salute delle persone, dell'economicità e fattibilità dell'intervento, si ritorni il più velocemente possibile alle condizioni pre-sinistro.



Grazie per l'attenzione.

[www.gruppoper.com](http://www.gruppoper.com)  
[info@gruppoper.com](mailto:info@gruppoper.com)