

IASPP

INQUINAMENTO:

“Introduzione diretta o indiretta, **a seguito di attività umana**, di sostanze, vibrazioni, calore o rumore o più in generale di **agenti fisici o chimici, nell'aria, nell'acqua o nel suolo**, che potrebbero nuocere alla salute umana o alla qualità dell'ambiente, causare il deterioramento dei beni materiali oppure danni o perturbazioni a valori ricreativi dell'ambiente o ad altri suoi legittimi usi”.

L'inquinamento ambientale può essere definito in base alla sua origine:

- Antropico, dovuto ad attività umane;
- Naturale; dovuto a fenomeni naturali.

Oppure può essere definito in base alla sua zona di interesse:

- Locale, inquinamento urbano;
- Regionale; piogge acide;
- Globale, buco dell'ozono.

Per inquinamento ambientale si intende il cambiamento delle caratteristiche originali dell'ambiente causato dall'immissione nello stesso di materia ed energia tale da provocare effetti negativi immediati o differiti nel tempo. Gli effetti dell'inquinamento ambientale si dividono in: effetti primari, attinenti alla salute dell'uomo ed effetti secondari, attinenti alla qualità di vita.

Effetti (sia primari che secondari):

- **Effetti acuti:** dovuti a brevi esposizioni a concentrazioni alte di inquinante/i. Gli effetti sensibili ai valori di picco di concentrazione e di esposizione agli inquinanti. Gli effetti sono visibili immediatamente, con ricadute istantanee sulla salute. Es. : disastro di Seveso, avvenuto nel comune di Meda il 10 luglio 1976. Nube tossica TCDD (diossina Seveso). Soggetti a rischio sono la popolazione che è stata esposta a questo evento.
- **Effetti cronici:** dovuti ad esposizioni prolungate all'inquinante. Gli effetti sono correlati ai valori medi di esposizione nel lungo periodo. Gli effetti sono visibili dopo lungo tempo, anche diversi anni. Es. : esposizione da amianto. Soggetti a rischio sono gli operai per un'esposizione prolungata.

Approcci per la tutela dell'ambiente:

1. Pipe & chimney solution (1800): spostare le emissioni di sostanze dannose lontano dai possibili recettori tramite tubi di scarico e ciminiere;
2. End-of-pipe-solution (1960): trattamento di emissioni ad effluenti a valle del processo tramite sistemi di depurazione industriali;
3. Clean process solution (1980): mira a processi “ambientalmente compatibili”: maggiore efficienza energetica, migliore utilizzo delle materie prime e minori scarti;
4. Product perspective (2000): l'analisi si sposta dal processo al prodotto considerando l'impatto di tutto il ciclo di vita (LCA) con un approccio integrato del problema di inquinamento ambientale.

Approccio integrato alla tutela ambientale:

La definizione delle migliori azioni correttive necessita di un approccio integrato e di una strategia di azione che vada oltre il singolo impianto industriale. La EEA (European Environmental Agency) ha sviluppato il modello DPSIR, che fornisce un riferimento di indicatori e indici che rappresentano una determinata matrice ambientale, e mette in relazione lo stato della stessa con le pressioni esercitate dalle attività umane naturali.

Il fine è quello di identificare le possibili cause di criticità così da poter valutare le risposte, già in essere o ipotizzabili, per la prevenzione delle stesse o per il recupero delle condizioni ottimali.

DPSIR:

- **D: driving forces**, azioni sia antropiche che naturali, in grado di determinare pressioni sull'ambiente. Sono tutti quelli aspetti relativi alla sfera sociale, demografica ed economica che descrivono gli stili di vita e i consumi della società e determinano delle pressioni sull'ambiente; per esempio: popolazione; consumi energetici; consumo di determinanti alimenti e materiali...
- **P: pressures**, ciò che altera lo stato ambientale (emissioni atmosferiche, rumore, campi elettromagnetici, produzione di rifiuti). Tutte le diverse modalità in cui la società influisce sullo stato dell'ambiente e ne determina un

cambiamento rispetto a quello originario; per esempio: emissioni di sostanze chimiche; immissioni di agenti biologici; strettamente di una risorsa; uso del suolo. Si tratta cioè delle pressioni esercitate sull'ambiente dalle forze determinanti.

- **S: states**, qualità fisiche, chimiche e biologiche delle risorse ambientali solitamente espresse con adeguati indici di qualità. Si rappresenta e si valuta lo stato delle diverse componenti ambientali; lo stato dell'ambiente è descritto sotto tutti i punti di vista, lo stato fisico, chimico, biologico; per esempio: temperatura; concentrazione di una data sostanza; presenza di una determinata specie; presenza di una data comunità. Rappresentano qualità, caratteri e criticità delle risorse ambientali derivanti dalle pressioni.
- **I: impacts**, effetti negativi sugli ecosistemi, sulla salute di uomini e animali e sull'economia. Si tratta di cambiamenti significativi nello stato delle diverse componenti dell'ambiente, che hanno ricadute sia sugli ecosistemi stessi che sulla società per esempio: surriscaldamento globale; perdita di biodiversità; diminuzione del PIL; danni alla salute. Si tratta delle alterazioni degli ecosistemi e della loro sostenibilità.
- **R: responses**: azioni di governo, attuate per fronteggiare pressioni e problemi manifestati sull'ambiente. Si tratta di risposte che la società intraprende per la salvaguardia dell'ambiente, al fine di ridurre gli impatti negativi e incentivare quelli positivi; per esempio: legislazione, piani di risanamento, obiettivi posti; interventi tecnologici; cambiamenti negli stili di vita... . Una risposta può essere in riferimento ad un determinante, una pressione, uno stato, un impatto, ma anche un cambiamento di una risposta non efficace.

Standard ambientali:

Gli standard ambientali rappresentano dei parametri per quanto possibile oggettivi su cui basare la valutazione ambientale.

- Standard relativi alle sorgenti: Tipologia di sorgente; Legati alla concentrazione e al flusso di massa; Legati alla migliore tecnologia disponibile (BAT);
- Standard di qualità ambientale: Primari e secondari; Definiscono lo stato dell'ambiente; Non forniscono le cause di inquinamento; Dipendono dalla destinazione;
- Standard di rischio ambientale: Valutazione di rischio (per la salute) o di costo/beneficio; Per definire azioni utili (probabilità di accadimento) o economicamente perseguibili;
- Standard sociali: Correlati al "sentire" della popolazione; Soggettivi e difficilmente utilizzabili per fini pratici; Utili in ambito di propaganda.

Indici di qualità ambientale:

Gli indici di qualità ambientale (WQI e AQI) sono parametri riassuntivi che permettono di avere un quadro globale sulla situazione ambientale. Per l'acqua Water Quality Index sviluppato nel 1970 dalla National Sanitario Fundation. Per l'atmosfera Air Quality Index detto in precedenza Pollution Standard Index.

Gli IQA sono parametri riassuntivi che permettono di avere un quadro globale della situazione ambientale.

$$AQI = \max(I_1, I_2, \dots, I_6)$$

I_1, I_2, \dots, I_6 sottoindici relativi ai seguenti inquinanti:

O_3, SO_2 (orari e su 8h), CO, NO_2 , PM2.5 e PM10

L'AQI finale è quindi relativo al valore più alto dei vari sottoindici. I valori di riferimento per gli Stati Uniti sono molto più alti (meno conservativi) di quelli europei.

In Italia, la prima applicazione dell'indice di qualità dell'aria è stata fatta nella regione Piemonte.

In Emilia Romagna, sono stati scelti solo 3 inquinanti di riferimento (quelli con maggiori effetti a breve termine e che rappresentano le maggiori criticità nel territorio):

- PM10 (e PM2.5): particolato;
- NO_2 : diossido di azoto;
- O_3 : ozono.

Sono stati esclusi il CO_2 e l' SO_2 , le cui concentrazioni negli ultimi decenni sono diminuite in modo significativo, e sono stabilmente e ampiamente sotto ai limiti di legge (in Emilia-Romagna). In generale ogni regione adotta regole diverse: in Lombardia gli inquinanti di riferimento sono 4. Il che ovviamente contribuisce ad una certa confusione nella gestione degli indici globali.

Standard Ambientali e Best Available Techniques:

Gli standard ambientali relativi alle sorgenti si pongono l'obiettivo di fissare i limiti per le stesse in modo da proteggere l'ambiente da emissioni inquinanti. Sono in continua evoluzione perché dipendono anche dal progresso tecnologico che va verso metodologie più efficienti nello sfruttare le risorse ambientali. La migliore tecnologia "ragionevolmente" disponibile è definita nelle **BAT=Best Available Technologies**.

=Tecniche sviluppate su una scala che ne consenta l'applicazione **in condizioni economicamente e tecnicamente idonee** nell'ambito del relativo comparto industriale, prendendo in considerazione i costi e i vantaggi.

Migliori Tecnologie Disponibili:

Le BAT sono le migliori soluzioni tecniche impiantistiche, gestionali e di controllo in grado di garantire un elevato livello di protezione dell'ambiente attraverso, ad esempio, bassi livelli di emissioni di inquinanti e l'ottimizzazione delle materie prime utilizzate nel processo. Le BAT vengono periodicamente aggiornate in funzione delle innovazioni e dei progressi tecnologici raggiunti. I documenti di riferimento, finalizzati a rendere diffusa ed efficace la conoscenza sulle BAT disponibili, sono i BAT reference documents.

Le conclusioni sulle BAT forniscono le **basi tecniche per stabilire le condizioni per rilasciare l'autorizzazione per le installazioni**.

Livelli di emissioni associati alle migliori tecniche disponibili (BAT-AEL). Intervalli di livelli di emissioni ottenuti in **condizioni di esercizio** normali utilizzando una migliore tecnica disponibile o una combinazione di migliori tecniche disponibili, come indicato nelle conclusioni sulle BAT, espressi come media in un determinato arco di tempo e nell'ambito di condizioni di riferimento specifiche.

Normativa ambientale:

La normativa ambientale è in continua evoluzione, e l'Unione Europea è il motore principale; fin dagli anni '70 spinge gli stati membri verso il rinnovamento con programmi d'azione quadriennali.

La normativa nazionale recepisce le direttive comunitarie, a loro volta condizionate da diversi fattori:

- Progresso scientifico nella comprensione dei fenomeni d'inquinamento (e dei loro effetti sull'uomo e sull'ambiente);
- Evoluzione tecnologica nei processi produttivi e di combustione;
- Principio di precauzione e del concetto di sviluppo sostenibile;
- Crescita della sensibilità collettiva nei confronti dell'inquinamento atmosferico.

In Italia il trend attuale è quello di delegare gran parte della pianificazione e del controllo ambientale alle regioni, comuni, province, trattenendo a livello statale solo la definizione dei limiti da non superare e degli obiettivi da raggiungere.

Stato:

- Definisce i limiti, le concentrazioni ammissibili;
- Stabilisce le metodologie ed i protocolli per il controllo;
- Stabilisce le linee guida per la programmazione ambientale.

Regioni, province e comuni:

- Hanno a seconda dei diversi ambiti ambientali considerati, funzioni di:
 - Controllo dello stato ambientale e del rispetto della normativa;
 - Pianificazione delle azioni per la salvaguardia ed il recupero dei vari comparti ambientali;
 - Amministrazione e rilascio di autorizzazioni;
 - Fissare limiti più restrittivi rispetto a quelli statali in caso di particolare situazioni ambientali.

Normativa ambientale: leggi quadro:

Dal 29 aprile 2006, data di entrata in vigore del D.lgs. n. 152 del 2006, "norme in materia ambientale", la normativa nazionale sulla tutela dell'ambiente ha subito una profonda trasformazione.

DECRETO LEGISLATIVO 3 APRILE 2006, n. 152: Norme in materia ambientale:

- Informalmente chiamato “Testo unico ambientale”
- Entrato in vigore nel 2006 (ultimo aggiornamento il 31/12/2020)
- “... ha come obiettivo primario la promozione dei livelli di **qualità della vita umana**, da realizzare attraverso la salvaguardia ed il miglioramento delle condizioni dell’ambiente e l’utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali”
- Cosa disciplina?
 - Le procedure per la valutazione ambientale strategica (VAS), per la valutazione d’impatto ambientale (VIA) e per l’autorizzazione ambientale integrata (IPPC);
 - La difesa del suolo e la lotta alla desertificazione, la tutela delle acque dall’inquinamento e la gestione delle risorse idriche;
 - La gestione dei rifiuti e la bonifica dei siti contaminati;
 - La tutela dell’aria e la riduzione delle emissioni in atmosfera;
 - La tutela risarcitoria contro danni all’ambiente.

Il successivo D.Lgs. 128/2010 ha modificato il Testo Unico Ambientale, principalmente a riguardo delle definizioni, gli iter autorizzativi, le scadenze e gli allegati tecnici che definiscono le attività soggette ad autorizzazione.

DECRETO LEGISLATIVO 152/2006:

- “... sia comunque sempre garantito il rispetto del **diritto europeo**, degli **obblighi internazionali** e delle competenze delle **Regioni** e degli **Enti locali**”.
- “La tutela dell’ambiente e degli ecosistemi naturali e del patrimonio culturale deve essere garantita da **tutti gli enti pubblici e privati e dalle persone fisiche e giuridiche pubbliche o private**, mediante una adeguata azione che sia informata ai principi della precauzione, dell’azione preventiva, della correzione, in via prioritaria alla fonte, dei danni causati dall’ambiente nonché al principio “**chi inquina paga**”...”.
- “Ogni attività umana giuridicamente rilevante ai sensi del presente codice deve conformarsi al **principio dello sviluppo sostenibile**, al fine di garantire che il soddisfacimento dei bisogni delle generazioni attuali non possa compromettere la qualità della vita e le possibilità delle generazioni future...”.
- “Data la **complessità delle relazioni e delle interferenze tra natura privata e attività umane**, il principio dello sviluppo sostenibile deve consentire di individuare un equilibrato rapporto, nell’ambito delle risorse ereditate, tra quelle da risparmiare e quelle da trasmettere, affinché nell’ambito delle dinamiche della produzione e del consumo si inserisca altresì il principio di solidarietà per salvaguardare e per migliorare la qualità dell’ambiente anche futuro”
- “Chiunque, senza essere tenuto a dimostrare la subsidenza di un interesse giuridicamente rilevante, può accedere alle informazioni relative allo stato dell’ambiente e del paesaggio nel territorio nazionale.

Principi cardine:

- **Principio di precauzione:** in caso di incertezza scientifica in merito a un rischio presunto per la salute umana o per l’ambiente derivante da una determinata azione politica, prevale l’opzione conservativa per la tutela della salute (es. divieto per l’uso di prodotti potenzialmente pericolosi). Le misure devono essere non discriminatorie e proporzionate e vanno riconsiderate non appena si rendano disponibili maggiori informazioni scientifiche.
- **Principio dell’azione preventiva:** misure/azioni che mirino a prevenire qualsiasi effetto negativo per l’ambiente; valutare in anticipo i rischi per l’ambiente e per la salute umana; sanzioni con effetto preventivo (responsabilità civile come strumento per imporre standard di comportamento, e quindi come strumento preventivo nella disciplina del danno all’ambiente).
- **Principio della correzione, in via prioritaria alla fonte, dei danni causati all’ambiente:** contrastare gli effetti negativi sull’ambiente per evitare che questi si amplifichino.
- **Principio del “Chi inquina paga”:** chi provoca un danno ambientale ne è responsabile e deve quindi intraprendere le necessarie azioni di prevenzione o di riparazione sostenendone tutti i costi relativi.

Disponibilità dei dati:

L’ISPRA è l’ente di indirizzo e di coordinamento delle agenzie regionali per la protezione dell’ambiente (ARPA) e coopera con l’Agenzia europea dell’ambiente e con le istituzioni ed organizzazioni nazionali ed internazionali operanti in materia di salvaguarda ambientale.

Legge quadro i contenuti:

Il D.lgs. 152/2006 ha riscritto le regole in materia di:

- Valutazione di impatto ambientale (parte II del D.lgs);
- Difesa del suolo e tutela delle acque (parte III);
- Gestione dei rifiuti (parte IV);
- Riduzione dell'inquinamento atmosferico (parte V), norme in materia di tutela dell'aria e di riduzione delle emissioni in atmosfera;
- Risarcimento dei danni ambientali (parte VI).

D. Lgs. 152/2006: parte II:

La parte II rappresenta l'attuale legge quadro in materia di ambiente:

- **Valutazione d'impatto ambientale (VIA):** procedura per la valutazione dei progetti pubblici e privati che possono avere un impatto ambientale importante;
- **Valutazione ambientale strategica (VAS):** procedura per la valutazione dei piani e programmi che possono avere un impatto ambientale significativo;
- **Autorizzazione integrata ambientale (AIA):** unico atto amministrativo richiesto agli impianti industriali che presentano un elevato potenziale di inquinamento, per ottenere il permesso a rilasciare inquinanti in aria, acqua, suolo.

D. Lgs. 152/2006: parte V:

La parte V, contenente le Norme in materia di tutela dell'aria e di riduzione delle emissioni in atmosfera, è suddivisa in tre titoli:

1. Norme di prevenzione e limitazione delle emissioni in atmosfera di impianti e attività di diversa tipologia e taglia, definendo i valori limite di emissioni per le diverse attività, indicando deroghe e sanzioni;
2. Norme relative agli impianti termici civili che regolano i limiti di emissione e la gestione dei sistemi civili (con potenza termica nominale inferiore a 3 MW), tipicamente impiegati per riscaldamento domestico;
3. Norme relative ai combustibili che definiscono le tipologie consentite per le diverse categorie di impianti, nonché le norme relative all'efficienza di combustione, al contenuto di ossidi di zolfo e così via.

Non sono trattati specificamente: la qualità dell'aria ambiente, le emissioni delle sorgenti mobili e gli inceneritori di rifiuti.

TITOLO I:**Definizioni:**

- **Emissione:** qualsiasi sostanza solida, liquida o gassosa introdotta nell'atmosfera che possa causare inquinamento atmosferico;
- **Emissione convogliata:** emissione di un affluente gassoso effettuata attraverso uno o più appositi punti;
- **Emissione diffusa:** emissione diversa da quella ricadente nella definizione di emissione convogliata;
- **Emissione tecnicamente convogliabile:** emissione diffusa che deve essere convogliata sulla base delle migliori tecniche disponibili o in presenza di situazioni o dizione che richiedono una particolare tutela;
- **Emissioni totali:** somma delle emissioni diffuse e convogliate.

Oggetto della disciplina:

- Procedure di autorizzazione;
- Valori limite per le emissioni convogliate, e prescrizioni per l'esercizio degli impianti;
- Disponibili per il contenimento delle emissioni diffuse, nel caso non siano convogliabili;
- Prescrizioni e metodi di campionamento ad analisi delle emissioni;
- Criteri per la valutazione della conformità dei valori misurati ai limiti stabiliti;
- Norme di raccordo con le disposizioni per l'incentivazione delle fonti energetiche rinnovabili.

Autorizzazioni:

Per tutti gli stabilimenti che producono emissioni deve essere richiesta una autorizzazione, che viene rilasciata con riferimento alla stabilimento; l'autorizzazione stabilisce:

- Per le emissioni che risultano tecnicamente convogliabili, le modalità di capostazione e di convogliamento;
- Per le emissioni convogliate, i valori limite di emissione, le prescrizioni, i metodi di campionamento e di analisi, i criteri per la valutazione della conformità dei valori misurati ai valori limite e la periodicità dei controlli di competenza del gestore;

- Per le emissioni diffuse, apposite prescrizioni finalizzate ad assicurarne il contenimento. L'autorizzazione è rilasciata con una validità di 15 anni.

Da notare è la distinzione tra impianto e stabilimento:

Secondo questo piano normativo infatti sono gli impianti (dispositivo o sistema destinato ad una specifica attività), ma sono gli stabilimenti (complessi stabili, siti, in cui sono presenti uno o più impianti) a necessitare dell'autorizzazione. Pertanto, sarà sufficiente la presenza di un solo punto di emissione da autorizzare con procedimento ordinario perché tutti gli altri punti dello stabilimento debbano necessariamente seguire lo stesso iter.

Emissioni convogliate:

Sono fornite le prescrizioni sui limiti di emissioni che variano a seconda delle tipologie considerate di impianto:

- Per gli impianti non diversamente specificati, le prescrizioni sono riferite alla totalità degli inquinanti, riuniti in gruppi di sostanze, con flussi di massa superiori a certe sole di rilevanza;
- Per particolari inquinanti diversamente definiti in relazione a:
 - Impianti industriali e tecnologici;
 - Impianti a combustione;
 - Impianti con emissione di composti organici volatili.

Gli specifici allegati forniscono i valori e linee guida appropriati.

Sono individuati, sulla base delle migliori tecnologie disponibili, i valori di emissione e le prescrizioni da applicare alle emissioni convogliate e diffuse degli impianti ed alle emissioni diffuse delle attività presso gli stabilimenti preesistenti e nuovi.

Da notare che i valori limite di emissione sono riferiti ad un determinato tenore di ossigeno, in caso di ulteriore diluizione dell'emissione (es. per un maggiore eccesso d'aria ad una combustione), le concentrazioni misurate devono essere opportunamente corrette.

Grandi impianti di combustione:

I grandi impianti di combustione vengono definiti come tali quelli con una potenza nominale superiore ai 50 MW.

Per questa tipologia di impianto vengono stabiliti i valori limite di emissione, inclusi quelli degli impianti multi-combustibili, le modalità di monitoraggio e di controllo delle emissioni, criteri per la verifica della conformità ai valori limite e le ipotesi di anomalo funzionamento o di guasto degli impianti.

allegato I	parte II: valori limite per le sostanze inquinanti; parte III: valori limite per le sostanze inquinanti di alcune tipologie di impianti e relative prescrizioni parte IV: valori limite e prescrizioni per raffinerie e impianti di coltivazione di idrocarburi e dei flussi geotermici	allegato V	<u>polveri e sostanze organiche liquide</u> : misure per il contenimento delle emissioni di polveri e gas o vapori derivanti da sostanze organiche liquide
allegato II	<u>grandi impianti di combustione</u> : fissa i VLE, le modalità di monitoraggio e controllo e i criteri per la verifica della conformità e le ipotesi di anomalo funzionamento o di guasto degli impianti	allegato VI	criteri per la valutazione della conformità dei valori misurati ai valori limite di emissione
allegato III	<u>emissioni di composti organici volatili</u> : fissa i VLE, le modalità di monitoraggio e controllo delle emissioni, i criteri per la verifica di conformità e la modalità di redazione del piano di gestione dei solventi	allegato VII	operazioni di deposito della benzina e sua distribuzione dai terminali agli impianti di distribuzione
allegato IV	impianti ed attività in deroga	allegato VIII	impianti di distribuzione di benzina
		allegato IX	impianti termici civili
		allegato X	disciplina dei combustibili

TITOLO II:

Impianti termici civili:

Il titolo II disciplina gli impianti termici civili aventi potenza termica nominale inferiore a determinate soglie, mentre quelli superiori sono sottoposti alle disposizioni del titolo I, così come quelli che utilizzano carbone da vapore, coke metallurgico, coke da gas, antracite aventi potenza termica nominale superiore a 3 MW.

Il titolo II riguarda impianti destinati a riscaldamento/climatizzazione di ambienti (o riscaldamento di acqua per usi igienico/sanitari), impianti di piccola potenza di cui sono definite le caratteristiche per il conseguimento ed il rispetto di valori e obiettivi di qualità dell'aria.

Vengono stabilite le modalità per l'installazione di impianti nuovi o loro modifica e quelle di conduzione, manutenzione e monitoraggio di tutti gli impianti anche esistenti.

TITOLO III:

Combustibili:

Combustibili consistenti: negli impianti disciplinati dal titolo I e II (parte V), inclusi gli impianti termici civili di potenza termica inferiore al valore di soglia, possono essere utilizzati esclusivamente i combustibili previsti per tali categorie di impianti dall'allegato X, alle condizioni previste; tali materiali e sostanze (in allegato X) non possono essere utilizzati come combustibili, se costituiscono rifiuti (parte IV del D. Lgs.).

Con apposito Decreto Ministeriale (e sotto l'autorizzazione della Commissione Europea), possono essere stabiliti valori limite massimi più elevati per il contenuto di zolfo negli oli combustibile pesanti o nel gasolio (in caso di impossibilità di rispettare i valori limite fissati, a causa di variazioni degli approvvigionamenti).

Prescrizioni per il rendimento di combustione:

Gli impianti disciplinati dal titolo I (con potenza termica nominale ≥ 6 MW) e quelli al titolo II (potenza ≥ 1.16 MW) devono essere dotati di:

- Rilevatori della temperatura nell'affluente gassoso;
- Un analizzatore per la misurazione e la registrazione in continuo di O₂ e CO;
- Regolazione automatica aria-combustibile (ove tecnicamente possibile).

Non si applica a quelli impianti di combustione che utilizzano direttamente i prodotti ottenuti in procedimenti di fabbricazione (anche potenza termica nominale < 50 MW).

ALLEGATO X - PARTE II:

Caratteristiche merceologiche dei combustibili (con metodi di misura e/o condizioni di utilizzo):

- Combustibili liquidi: gasolio, kerosene, olio combustibile e distillati leggeri, medi e pesanti di petrolio, emulsione acqua-bitumi, biodiesel;
- Combustibili solidi: coke metallurgico e da gas, antracite, prodotti antracitosi e miscele, carbone da vapore, agglomerati di lignite, coke da petrolio;
- Emulsioni: acqua/gasolio, acqua/kerosene, acqua/olio combustibile;
- Biomasse combustibili;
- Idrocarburi pesanti derivanti dalla lavorazione del greggio;
- Biogas.

Nuovo testo: D. Lgs. 128/2010:

Il successivo testo (del 2010), che parzialmente modifica il 152/2006, prevede nel dettaglio:

- Riunificazione della disciplina e della normativa in materia di inquinamento atmosferico;
- Ampliamento della nozione di impianto;
- Disciplina e regolamentazione anche di alcune attività senza impianto;
- Introduzione di un termine di durata (di 15 anni) per le autorizzazioni;
- Introduzione di conferenze di servizi;
- Sostituzione del concetto "migliori tecnologie disponibili" con quello di "migliori tecniche disponibili" (BAT);
- Introduzione dell'obbligo di convogliamento delle emissioni diffuse;
- Disciplina delle ipotesi di guasto tecnico.

Qualità dell'aria:

In materia di valutazione e gestione delle qualità dell'aria, la norma quadro è il D. Lgs. N.155 del 2010, "attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa", che istituisce un quadro normativo unitario in materia di valutazione e gestione delle qualità dell'aria.

La normativa introduce importanti novità in materia di controllo dell'inquinamento atmosferico individuando gli obiettivi di qualità dell'aria ambiente e definendo metodi e criteri comuni per la caratterizzazione delle diverse zone di monitoraggio. Viene fornito un metodo di riferimento per la caratterizzazione delle cose (zonizzazione), e definiti i valori di riferimento che permettono una valutazione della qualità dell'aria, su base annuale, in relazione alle concentrazioni dei diversi inquinanti considerati.

D. Lgs. 155/2010: qualità dell'aria

Istituisce un quadro normativo sulla valutazione della qualità dell'aria ambientale e della sua gestione, mirando a:

- Individuare gli obiettivi per una qualità dell'aria che prevengano o riducano gli effetti nocivi per l'ambiente e per l'uomo;
- Determinare i metodi e i criteri per la valutazione della qualità dell'aria su tutto il territorio nazionale;
- Collezionare le informazioni sulla qualità dell'aria per studiare le opportune contromisure, monitorando anche le tendenze a lungo termine e valutare gli effetti delle contromisure;
- Preservare e migliorare la qualità dell'aria;
- Divulgare al pubblico le informazioni sulla qualità dell'aria;
- Instaurare una collaborazione a livello europeo per la tutela della qualità dell'aria.

Le principali caratteristiche del decreto sono:

- Vengono fornite le definizioni di valore limite, valore obiettivo, soglia di informazione e di allarme, livelli critici, obiettivi a lungo termine;
- L'elenco degli inquinanti è individuato in NO₂, SO₂, CO, O₃, PM₁₀, PM_{2.5}, benzene, benzopirene, piombo, arsenico, cadmio, nichel, mercurio, precursori dell'ozono e sono stabilite le modalità della trasmissione e i contenuti delle informazioni sullo stato della qualità dell'aria, da inviare al ministero dell'ambiente;
- Viene effettuata una opportuna zonizzazione del territorio sul quale deve essere effettuato il monitoraggio: le regioni sono le autorità competenti per effettuare la valutazione della qualità dell'aria e per la redazione dei piani di risanamento nelle aree nelle quali sono stati superati i valori limite.

In particolare vengono definiti:

- Valore limite: livello che deve essere raggiunto entro un termine prestabilito e che non deve essere successivamente superato;
- Valore obiettivo: livello da conseguire, ove possibile, entro una data prestabilita;
- Livello critico: livello oltre il quale possono sussistere rischi o danni per ecosistemi e vegetazione, non per gli esseri umani;
- Margine di tolleranza: percentuale del valore limite entro la quale è ammesso il superamento del valore limite;
- Soglia di allarme: livello oltre il quale sussiste pericolo per la salute umana, il cui raggiungimento impone di assicurare informazioni adeguate e tempestive;
- Soglia di informazione: livello oltre il quale sussiste pericolo per la salute umana per alcuni gruppi sensibili, il cui raggiungimento impone di assicurare informazioni adeguate e tempestive;
- Obiettivo a lungo termine: livello da raggiungere nel lungo periodo mediante misure proporzionate;
- Indicatore di esposizione media: livello da verificare sulla base di selezionate stazioni di fondo nazionali che riflette l'esposizione media della popolazione;
- Obbligo di concentrazione dell'esposizione: livello da raggiungere entro una data prestabilita;
- Obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione: riduzione percentuale dell'esposizione media rispetto ad un anno di riferimento, da raggiungere entro una data prestabilita.

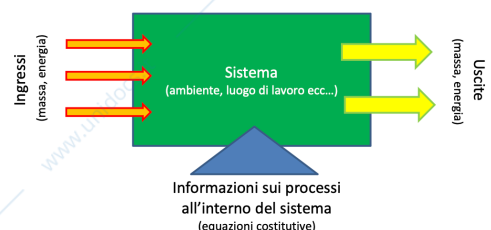
IASPP - Intro:

Ingegneria ambientale ed inquinamento:

Si focalizza sulla protezione dell'ambiente dall'uomo e dagli effetti negativi delle diverse attività umane (impatto di impianti industriali, trattamento di reflui industriali e civili, analisi del fato ambientale di un inquinante, modellazione della dispersione).

Processo di inquinamento: solitamente parlando di inquinamento e dispersione ci si riferisce alla dispersione in ambiente a valle di una emissione o di uno scarico incontrollato di rifiuti. Anche all'interno degli ambienti e soprattutto nei luoghi di lavoro ci può essere inquinamento che deve essere ovviamente controllato per garantire la salute dei lavoratori. L'inquinamento è un processo complesso che presenta molte variabili che possono influire in modo importante su quelli che sono i potenziali impatti del fenomeno iniziale.

I bilanci di materia ed energia sono degli utili strumenti per quantificare le concentrazioni di inquinanti al fine di comprendere e capire la salubrità degli ambienti ed intraprendere eventuali azioni correttive.



Le misure di composizione:

Per la descrizione di un sistema multi componente è necessario conoscere la quantità relativa di ogni singolo componente all'interno dello stesso, è in altre parole necessario poterne definire la **composizione**. Esistono molti diversi modi per definire o descrivere composizione di un sistema legata sostanzialmente "all'unità di misura" della massa.

$$\text{Misure di composizione del composto } i: \quad \frac{\text{Quantità del composto } i}{\text{Quantità totale}}$$

Esistono frazioni in massa, frazioni molari, frazioni volumetriche, concentrazioni massiche o molari così come molte altre misure di composizione che risultano più o meno comode per la descrizione del sistema in funzione delle caratteristiche dello stesso, dei processi che vi si svolgono ed anche in relazione al loro confronto con i limiti di legge.

Frazioni e rapporti molari o massici:

Frazione massica (ω) e molare* (x) del composto i-esimo:

$$\omega_i = \frac{m_i}{m_{tot}} \quad \sum_{i=1 \dots N_c} \omega_i = 1 \quad x_i = \frac{n_i}{n_{tot}} \quad \sum_{i=1 \dots N_c} x_i = 1$$

Rapporto di massa o molare del composto i-esimo (rispetto al composto j-esimo):

$$\Omega_i = \frac{m_i}{m_j} = \frac{m_i}{m_j} \frac{m_{tot}}{m_{tot}} = \frac{\omega_i}{\omega_j} = \frac{\omega_i}{1 - \omega_i} \quad \sum_{i=1 \dots N_c} \Omega_i \neq 1$$

Miscela binaria o in caso di sistemi in cui «i» rappresenta l'unico composto di interesse e j rappresenti la somma delle frazioni inerti

$$X_i = \frac{n_i}{n_j} = \frac{n_i}{n_j} \frac{n_{tot}}{n_{tot}} = \frac{x_i}{x_j} = \frac{x_i}{1 - x_i} \quad \sum_{i=1 \dots N_c} X_i \neq 1$$

$$m_j = m_{inerti} = \sum_{k \neq i} m_k$$

Concentrazioni (in peso e/o moli):

Le concentrazioni sono definite come quantità di sostanza (in massa o moli) per volume di miscela, sono dimensionali (diversamente da frazioni e rapporto che non hanno dimensione)

$$\rho_i = \frac{m_i}{V_{tot}} = \frac{m_i}{V_{tot}} \frac{m_{tot}}{m_{tot}} = \omega_i \rho$$

ρ_i concentrazione massica

ρ densità (concentrazione massica media della miscela)

Le misure di concentrazione risultano solitamente utili per sistemi a densità o volume molare costante (liquidi o gas a pressione temperatura costante) in quanto in queste condizioni esiste proporzionalità tra concentrazione e frazioni molari.

$$c_i = \frac{n_i}{V_{tot}} = \frac{n_i}{V_{tot}} \frac{n_{tot}}{n_{tot}} = x_i c$$

c_i concentrazione molare del composto i-esimo

c concentrazione molare media della miscela.

$$\rho_i = \frac{m_i}{V_{tot}} = \frac{n_i M_i}{V_{tot}} = c_i M_i$$

Nel caso di miscele gassose a bassa pressione (con comportamento prossimo a gas ideali) la relazione tra concentrazione e frazioni, molari o in massa, risulta facilmente calcolabile una volta note pressione e temperatura.

Facendo infatti riferimento all'equazione dei gas perfetti si ottiene facilmente:

$$\rho_i = \frac{m_i}{V_{tot}} = \frac{m_i}{n_{tot}RT} = \frac{m_i}{m_{tot}RT} = \omega_i \frac{P\bar{M}_{mix}}{RT}$$

$$c_i = \frac{n_i}{V_{tot}} = \frac{n_i}{n_{tot}RT} = x_i \frac{P}{RT}$$

Richiami ai bilanci globali di materia:

Si fa riferimento a una generica proprietà estensiva (additiva nella massa) Ψ e a un generico volume V di un mezzo continuo, racchiuso da una superficie (frontiera) S , ed aperto agli scambi di materia ed energia con l'ambiente esterno.

Il concetto di sistema è estremamente flessibile, esso infatti può essere un volume continuo ed omogeneo oppure discontinuo, semplice (formato da una sola unità) o complesso (formato da più unità o sottosistemi).

Se considero un **parco serbatoi** per esempio:

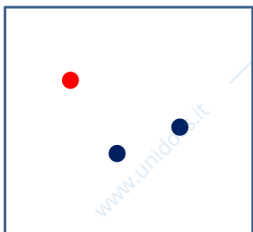
- Posso considerare il singolo serbatoio (sistema semplice formato da una singola unità);
- Oppure l'intero parco serbatoi (sistema complesso formato da più sottoinsiemi semplici).

Da notare è la distinzione tra impianto e stabilimento: secondo il piano normativo infatti non sono gli impianti (dispositivo o sistema destinato ad una specifica attività), ma sono gli stabilimenti (complessi stabili, siti, in cui sono presenti uno o più impianti) a necessitare dell'autorizzazione.

Pertanto sarà sufficiente la presenza di un solo punto di emissione da autorizzare con procedimento ordinario perché tutti gli altri punti dello stabilimento debbano necessariamente seguire lo stesso iter.

I **sistemi complessi** possono essere studiati tramite lo studio dei sottoinsiemi di cui sono composti. La connessione tra i diversi sistemi diviene in questo caso molto importante per lo studio.

A cosa serve un bilancio? Nella pratica i bilanci sono strumenti matematici che ci permettono di costruire relazioni atte allo studio del sistema. In realtà sono strumenti abbastanza intuitivi e insiti nel normale modo di ragionare di ognuno.



Bilanci di massa: prendiamo come esempio la scatola a fianco: notiamo la presenza di due palline blu e una pallina rossa, per un totale di tre palline. In relazione al bilancio possiamo notare che si possono contare sia le palline totali che quelle rosse e quelle blu separatamente. Abbiamo quindi due tipologie di bilanci.

Il bilancio totale di massa:

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out}$$

I Bilanci ai singoli componenti

$$\frac{dm_i}{dt} = \dot{m}_{i-in} - \dot{m}_{i-out} + \dot{m}_{i-gen}$$

Quest'ultimo si nota che presenta un termine aggiuntivo, detto generativo, che tiene conto del fatto che mentre la massa totale si conserva, quella del singolo componente può cambiare per effetto delle reazioni chimiche. Un po' come se, sotto certe condizioni, una sfera blu potesse diventare rossa.

Richiami ai bilanci globali di materia:

Il bilancio scritto in precedenza viene spesso riscritto in forma differenziale, facendo riferimento ad un intervallo di tempo infinitesimo per renderlo più flessibile e generale:

$$\frac{d\Psi}{dt} = \dot{\Psi}_T^{(s)} + \dot{\Psi}_g^{(g)}$$

Risulta spesso utile anche far riferimento in esplicito alle diverse correnti materiali entranti ed uscenti dal sistema per differenziare il loro contributo al bilancio di Ψ rispetto a quelli distribuiti sulla superficie e non necessariamente legati all'ingresso di massa nel sistema:

$$\frac{d}{dt} \int_V \Psi^m dV = \sum_e^{1 \dots N_e} \dot{\Psi}^{(e)} - \sum_u^{1 \dots N_u} \dot{\Psi}^{(u)} + \int_S \dot{\Psi}_S^m dS + \int_V \dot{\Psi}_g^m dV$$

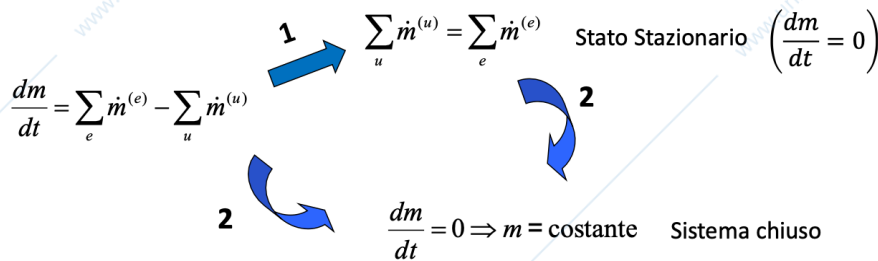
I bilanci globali sono così chiamati in quanto permettono una volta integrati di conoscere l'andamento nel tempo delle grandezze medie del sistema. Non danno però altre informazioni sullo stesso.

Dal punto di vista dei bilanci globali un sistema è perciò caratterizzato tramite:

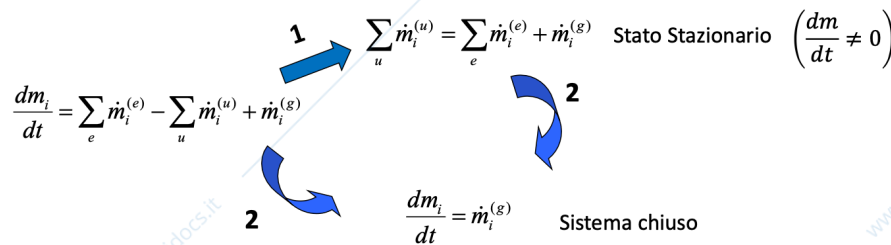
- Lo **scambio di materia** tra il sistema e il resto dell'universo, limitato a:
 - Ne correnti materiali entranti,
 - Nu correnti materiali uscenti;
- Lo **scambio di energia** tra il sistema e il resto dell'universo, sottoforma di:
 - Calore (positivo se il calore è fornito al sistema),
 - Lavoro (positivo se il lavoro è fatto sul sistema);
- Lo **Stato di ciascuna corrente materiale** in ingresso e in uscita del sistema, definito dal valore di (N_c+1) variabili scalari che definiscono lo stato fisico-chimico, e di una variabile vettoriale che definisce lo stato di moto e quindi da (N_c+2) variabili.

Volendo esemplificare la situazione si consideri un sistema di separazione in cui una miscela di idrocarburi viene parzialmente condensata per rimuovere i composti più volatili.

Bilancio globale di massa:



Bilancio globale di massa per il componente i-esimo:



Altre forme del bilancio di materia:

- Molare:
 - Moli totali:
$$\frac{dn}{dt} = \sum_e \dot{n}^{(e)} - \sum_u \dot{n}^{(u)} + \dot{n}^{(g)}$$
 - Moli del composto i-esimo:
$$\frac{dn_i}{dt} = \sum_e \dot{n}_i^{(e)} - \sum_u \dot{n}_i^{(u)} + \dot{n}_i^{(g)}$$
- Volumetrico (ρ costante):
 - $$\frac{dV}{dt} = \sum_e \dot{V}^{(e)} - \sum_u \dot{V}^{(u)} \quad V = \frac{m}{\rho} = m \hat{V} \quad \dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \dot{m} \hat{V}$$
- Basato sulle concentrazioni ($m=\rho V$ o $n=cV$ con $V=$ cost):
 - $$V \frac{dc_i}{dt} = \sum_e \dot{V}^{(e)} c_i^{(e)} - \sum_u \dot{V}^{(u)} c_i^{(u)} + \dot{n}_i^{(g)}$$
 - $$V \frac{d\rho_i}{dt} = \sum_e \dot{V}^{(e)} \rho_i^{(e)} - \sum_u \dot{V}^{(u)} \rho_i^{(u)} + \dot{m}_i^{(g)}$$

Il termine generativo:

Nell'ambito delle ipotesi fatte ed escludendo reazioni nucleari, la generazione di massa totale è ovviamente nulla e di termini generati che compaiono nei bilanci ai singoli composti sono legati a relazioni che trasformano determinati composti (detti reagenti) in altri (prodotti).

In massa:

$$\frac{dm_i}{dt} = \sum_e \dot{m}_i^{(e)} - \sum_u \dot{m}_i^{(u)} + \dot{m}_i^{(g)}$$

In moli:

$$\frac{dn_i}{dt} = \sum_e \dot{n}_i^{(e)} - \sum_u \dot{n}_i^{(u)} + \sum_r \nu_{ir} \dot{\xi}_r$$

La progressione di una reazione può essere descritta da una singola grandezza ξ detta grado di avanzamento. Le N_c velocità di generazione di massa dei composti presenti nel sistema possono essere calcolate in base alle N_r velocità di variazione del grado di avanzamento, con una riduzione del numero di informazioni necessarie per definire il sistema (solitamente $N_r < N_c$).

Sistemi reagenti: i parametri di interesse:

Nel caso di sistemi reagenti, e rimanendo comunque nell'ambito dei bilanci globali, la risoluzione del problema richiederà informazioni aggiuntive legate al grado di avanzamento di ogni singola reazione. Tale informazioni vengono spesso date definendo il valore di alcuni parametri di interesse pratico quali resa, conversione e selettività, che sono di seguito definiti:

- La **conversione** di un reagente A è il prodotto fra le moli di A alimentate al sistema e quelle effettivamente reagite, ovvero, nel caso di un sistema chiuso, tra le moli reagite e le moli iniziali del reagente stesso.
- La **resa**, di un reagente A nei confronti di un prodotto C è il rapporto tra la quantità di prodotto formato e quella di reagente alimentato, ovvero, per un sistema chiuso tra le moli di prodotto C generate e le moli di A presenti inizialmente.
- La **selettività** di un reagente A nei confronti di un prodotto C è il rapporto tra le moli generate di C rispetto a quelle reagite di A.

$$\chi_A = \frac{|\dot{n}_A^{(g)}|}{\sum_e \dot{n}_A^{(e)}} = - \frac{\sum_r \nu_{Ar} \dot{\xi}_r}{\sum_e \dot{n}_A^{(e)}} \quad \eta_{A-C} = \frac{|\dot{n}_C^{(g)}|}{\sum_e \dot{n}_A^{(e)}} = \frac{\sum_r \nu_{Cr} \dot{\xi}_r}{\sum_e \dot{n}_A^{(e)}}$$

Per un generico sistema aperto, stazionario, con **più correnti entranti e più reazioni**

$$\sigma_{A-C} = \frac{|\dot{n}_C^{(g)}|}{|\dot{n}_A^{(g)}|} = - \frac{\sum_r \nu_{Cr} \dot{\xi}_r}{\sum_r \nu_{Ar} \dot{\xi}_r}$$

Per un generico sistema aperto con **più correnti entranti e più reazioni**

$$\chi_A = \frac{|\dot{n}_A^{(g)}|}{\dot{n}_A^{(e)}} = - \frac{\nu_A \dot{\xi}}{\dot{n}_A^{(e)}} \quad \eta_{A-C} = \frac{|\dot{n}_C^{(g)}|}{\dot{n}_A^{(e)}} = \frac{\nu_C \dot{\xi}}{\dot{n}_A^{(e)}}$$

Per un generico sistema aperto, stazionario, con **una sola corrente entrante e una sola reazione.**

$$\sigma_{A-C}(t) = \frac{|\dot{n}_C^{(g)}(t)|}{|\dot{n}_A^{(g)}(t)|} = - \frac{\sum_r \nu_{Cr} \dot{\xi}_r(t)}{\sum_r \nu_{Ar} \dot{\xi}_r(t)}$$

Per un generico **sistema chiuso** non stazionario con **più reazioni.**

$$\chi_A(t) = \frac{|n_A^{(g)}(t)|}{n_A^{(iniziali)}} = - \frac{\nu_A \xi(t)}{n_A^{(iniziali)}} \quad \eta_{A-C} = \frac{|n_C^{(g)}(t)|}{n_A^{(iniziali)}} = \frac{\nu_C \xi}{n_A^{(iniziali)}}$$

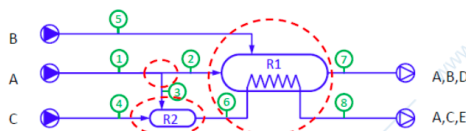
Per un generico **sistema chiuso** non stazionario con **una sola reazione**

Oltre ai parametri precedenti, altre definizioni spesso utilizzate nel descrivere i sistemi reagenti sono quelle di "reagente limitante" e di "eccesso di un reagente". In particolare il reagente limitante è quello che termina prima di tutti gli altri in quanto alimentato in condizioni sub-stechiometriche rispetto agli altri. Ovviamente definito il reagente limitante tutti gli altri reagenti risultano in eccesso e tale eccesso è definito come quantità residua una volta che tutto il reagente limitante sia consumato.

Sistemi semplici e complessi:

Fino ad ora si è fatto riferimento a sistemi semplici, composti cioè da una singola unità. spesso però il sistema globale può essere diviso in più unità separate. Ognuna di esse può essere poi trattata come un sistema a sé stante il cui studio può essere portato avanti tramite i bilanci di massa ed energia.

L'applicazione dei bilanci e ai sistemi complessi ovviamente permette di aumentare la conoscenza dei processi rispetto rispetto all'approccio tipo scatola nera, ma richiede in generale più lavoro per la risoluzione. Questo procede solitamente a partire dall'individuazione di un sottosistema risolvibile per poi ottenere le informazioni necessarie alla risoluzione degli altri sottosistemi.

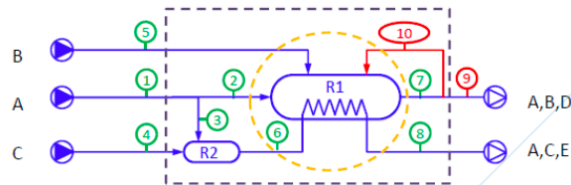


Se conosco la portata e composizione delle correnti 2, 4, 6 e i gradi di avanzamento di R1 e R2, posso risolvere il bilancio come segue:

1. Risolvo i bilanci di materia al sottosistema 3, 4, 6 per trovare la corrente 3;
2. Risolvo i bilanci di materia al nodo 1, 2, 3 per trovare la corrente 1;
3. Risolvo i bilanci di materia 2, 5, 7 per trovare la corrente 7.

Si noti che la corrente 8 ha la stessa portata e composizione della corrente 6.

A volte nei sistemi complessi si hanno anche dei circoli che solitamente rendono il calcolo un po' più elaborato dato che il funzionamento di un determinato sottosistema viene a dipendere non solo dal funzionamento dei sistemi a monte, ma anche della risposta di quelli a valle dello stesso.



Questo tipo di collegamento solitamente impedisce una soluzione stadio per stadio rendendo più complesso il procedimento risolutivo. Si noti inoltre che mentre i ricircoli non influiscono sulla definizione del grado di avanzamento della reazione, essi rendono non univoca la definizione di conversione, dato che questa può riferirsi alle moli entranti nel sistema globale, **conversione globale**, oppure alle moli entranti nei sottosistemi che ricevono anche il reagente ricircolato. Questa è solitamente detta **conversione di passaggio**.

FASE PERFETTAMENTE MISCELATA:

Modelli fluidodinamici semplici:

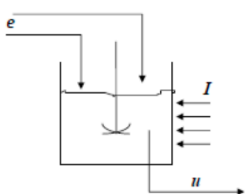
La necessità di conoscere le condizioni di moto e di profili di concentrazione, temperature e delle altre proprietà all'interno del sistema, fa nascere la necessità di avere modelli più completi e complessi. Spesso è però sufficiente analizzare sistemi semplificati per ottenere comunque molte informazioni sul comportamento dei sistemi reali. I modelli fluido dinamici semplici più utilizzati sono principalmente due:

- La **Fase Perfettamente Miscelata** (FPM). Fase in cui stato (**fisico-chimico**) locale è, istante per istante, uniforme nell'intero volume, anche in condizioni di non equilibrio.
- La **Corrente Monodimensionale** (CM). Corrente in cui stato (**chimico-fisico** e **velocità**) locale è, istante per istante, uniforme in ciascuna sezione trasversale e per la quale il trasporto diffusivo assiale è trascurabile rispetto al trasporto convettivo.

La fase perfettamente miscelata:

Tale modello è spesso detto anche CSTR (dall'inglese Continuous-flow Stirred Tank Reactor): esso nasce infatti per la descrizione di reattori continui agitati.

Scrittura dei bilanci per una FPM: la FPM è in effetti un modello che permette, data l'assunzione di perfetta omogeneità all'interno del sistema, di mantenere per i diversi bilanci la stessa forma matematica vista nel caso della **scatola nera**. ora però i valori delle correnti (o meglio della corrente uscente) sono quelli presenti in ogni punto del sistema. Il K ci permette di utilizzare le equazioni costitutive viste prima.



Per unità di Massa

$$\frac{dm}{dt} = \sum_e \dot{m}^{(e)} + \dot{m}^{(l)} - \dot{m}^{(u)}$$

$$\frac{dm_i}{dt} = \sum_e \dot{m}_i^{(e)} + \dot{m}_i^{(l)} - \dot{m}_i^{(u)} + \dot{m}_i^g$$

Per unità di Moli

$$\frac{dn}{dt} = \sum_e \dot{n}^{(e)} + \dot{n}^{(l)} - \dot{n}^{(u)} + \dot{n}^g$$

$$\frac{dn_i}{dt} = \sum_e \dot{n}_i^{(e)} + \dot{n}_i^{(l)} - \dot{n}_i^{(u)} + \dot{n}_i^g$$

Ora però è possibile dire che la concentrazione (temperatura o ogni altra grandezza chimico fisica) in uscita è identica a quella presente in ogni punto del sistema. È dunque possibile utilizzare le equazioni costitutive dei processi che descrivono i diversi termini presenti nel bilancio.

Per unità di Moli

$$\frac{dn_i}{dt} = \sum_e \dot{n}_i^{(e)} + \dot{n}_i^{(l)} - \dot{n}_i^u + \dot{n}_i^g$$

$K_{\chi_i} S_I (\chi_i^{(eq)} - \chi_i)$

Flusso all'interfaccia
(solitamente tra due fasi)

Per unità di Massa

$$\frac{dm_i}{dt} = \sum_e \dot{m}_i^{(e)} + \dot{m}_i^{(l)} - \dot{m}_i^u + \dot{m}_i^g$$

$K_{\omega_i} S_I (\omega_i^{(eq)} - \omega_i)$

Flusso all'interfaccia
(solitamente tra due fasi)

$V \sum_r v_{ir} R_r$

$V M_i \sum_r v_{ir} R_r$

Ovviamente, l'ipotesi di omogeneità porta anche ad una minore generalità del sistema. Tali bilanci, per esempio, non possono essere applicati a sistemi complessi, nel senso di formati da più sottoinsiemi, dato che in questi ultimi non può essere appunto garantita l'omogeneità.

Velocità di Reazione

 $\xi_r = V R_r$

Modelli fluidodinamici semplici - Cinetica:

Qualunque sia la forma del bilancio è comunque necessario richiamare brevemente le equazioni costitutive necessarie alla risoluzione. Facendo per esempio riferimento alle reazioni, la cinetica di reazione può essere scritta come funzione della concentrazione dei reagenti presenti in reazione. In generale, la reazione è tanto più rapida quanto maggiore è la concentrazione degli stessi. La velocità delle reazioni chimiche è infatti legata al meccanismo con cui avviene la reazione, che può essere semplice o in più step, ognuno caratterizzato da urti più o meno complessi tra i diversi reagenti.

La cinetica è dunque più elevata quando:

- È minore in numero di step coinvolti;
- È minore il numero di molecole coinvolte;
- È minore l'energia di un urto necessario a far avvenire la reazione (energia di attivazione).

In generale, la cinetica o velocità di reazione (intesa come prodotto generato nell'unità di tempo e per volume) è data da relazioni di questo tipo:



La cinetica dei processi chimici:

- Se la relazione è semplice, con un solo step, valgono in genere le relazioni $a = \alpha, b = \beta, c = \chi, \dots$;
- La somma dei diversi esponenti definisce l'**ordine** (o grado) della reazione ($\alpha + \beta$);
- Di conseguenza, le dimensioni delle costanti cinetiche dipendono dall'ordine della reazione.

La cinetica chimica: le equazioni cinetiche di reazione possono ovviamente essere anche molto complesse, nei processi biochimici ed ambientali però vi sono alcune forme che ricorrono più spesso.

Cinetica lineare, o del primo ordine, in cui la velocità di reazione è direttamente proporzionale alla concentrazione di un solo reagente. Anche se sono poche le reazioni veramente del primo ordine, l'approssimazione è spesso accettabile nei casi di interesse per cui il modello modello è in pratica molto utile. In particolare, esso vale se un reagente è in difetto rispetto agli altri. per cui possiamo pensare che solo la sua concentrazione cambi significativamente nel processo.

Applicazioni per una FPM:

Visto che la cinetica si esprime in termini di concentrazione, spesso vengono utilizzati i bilanci in termini di concentrazioni massiche, o molari. Per un sistema a **volume costante** si ha perciò:

$$V \frac{dc_i}{dt} = \sum_e \dot{V}^{(e)} (c_i^{(e)} - c_i) + V \sum_r R_r v_{ir}$$

Cinetica del primo ordine

$$V \frac{dc_i}{dt} = \sum_e \dot{V}^{(e)} (c_i^{(e)} - c_i) - V k_r c_i$$

Per un sistema stazionario aperto (con un solo ingresso), le equazioni poi si riducono a:

$$V \frac{dc_i}{dt} = \sum_e \dot{V}^{(e)} (c_i^{(e)} - c_i) - V k_r c_i$$

$$\dot{V}^{(e)} (c_i^{(e)} - c_i) - V k_r c_i = 0$$

$$(c_i^{(e)} - c_i) = \frac{V k_r}{\dot{V}^{(e)}} c_i \rightarrow c_i^{(e)} = c_i + \frac{V k_r}{\dot{V}^{(e)}} c_i$$

$\theta = \frac{V}{\dot{V}^{(e)}}$ **θ è detto tempo di riempimento, o permanenza, e misura la permanenza media del fluido nel sistema**

$$c_i^{(e)} = c_i (1 + \theta k_r) \quad c_i = c_i^{(e)} (1 + \theta k_r)^{-1}$$

Le cose si possono ovviamente generalizzare per esempio riscrivendo le relazioni in termini di conversione o considerando cinetiche diverse.

Reazioni del primo ordine:

$$0 = c_A^{(e)} - c_A - k c_A \theta$$

$$c_A = c_A^{(e)} - k c_A \theta \rightarrow \theta = \frac{c_A^{(e)} - c_A}{k c_A}$$

$$\chi_A = \frac{|\dot{n}_A^{(g)}|}{\dot{n}_A^{(e)}} = \frac{c_A^g}{c_A^u - c_A^g} = \frac{R_A \theta}{c_A + R_A \theta} = \frac{k c_A \theta}{c_A + k c_A \theta} = \frac{k \theta}{1 + k \theta} \rightarrow \theta = \frac{\chi_A}{k(1 - \chi_A)}$$

Reazioni del secondo ordine:

$$0 = c_A^{(e)} - c_A - k_A c_A^2 \theta \rightarrow \theta = \frac{c_A^{(e)} - c_A}{k_A c_A^2}$$

$$\chi_A = \frac{|\dot{n}_A^{(g)}|}{\dot{n}_A^{(e)}} = \frac{c_A^g}{c_A^u - c_A^g} = \frac{R_A \theta}{c_A + R_A \theta} = \frac{k c_A^2 \theta}{c_A + k c_A^2 \theta} = \frac{k c_A \theta}{1 + k c_A \theta} \rightarrow \theta = \frac{\chi_A}{k c_A (1 - \chi_A)}$$

Nel caso di sistema chiuso non stazionario (sistema batch), per una cinetica del primo ordine, si avrà invece:

$$V \frac{dc_i}{dt} = \sum_e \dot{V}^{(e)} (c_i^{(e)} - c_i) - V k_r c_i$$

$$\frac{dc_i}{dt} = -k_r c_i \rightarrow \int \frac{dc_i}{c_i} = - \int k_r dt \rightarrow \ln \frac{c_i}{c_0} = -kt$$

$$c_i(t) = c_0 e^{-kt}$$

La concentrazione calerà quindi in modo **esponenziale**

I sistemi batch ci risultano piuttosto utili per il calcolo delle costanti cinetiche. Per esempio, utilizzando una scala semi-logaritmica, il grafico tra concentrazione e tempo, per un sistema del primo ordine, diviene rettilinea con pendenza -k, rendendo particolarmente semplice la determinazione sperimentale del suo valore.

A volte, invece nella costante cinetica, vengono riportate misure diverse per definire la velocità di reazione, come per esempio:

-**Emvita**: tempo necessario a ridurre la concentrazione alla metà del valore iniziale;

-**Tempo di riduzione decimale**: tempo necessario a ridurre la concentrazione ad un decimo del valore iniziale.

Si noti che per cinetiche di questo tipo, tali parametri sono indipendenti dalla concentrazione iniziale ed in una relazione diretta con la costante cinetica K.

$$c_i = \frac{c_{i0}}{2} \quad t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

$$c_i = \frac{c_{i0}}{10} \quad D = \frac{\ln 10}{k}$$

La corrente monodimensionale:

La FPM permette un'applicazione semplice delle equazioni cinetiche ai bilanci, ma non permette di valutare l'evoluzione della composizione tra l'entrata e l'uscita del sistema. questo può essere molto importante in diversi sistemi in cui l'ipotesi di omogeneità non può essere applicata. in tali sistemi, l'evoluzione spaziale non può essere trascurata e per questo è necessario utilizzare un approccio diverso, discretizzando il sistema per poter valutare la sua evoluzione nello spazio, oltre che nel tempo.

Un modo per procedere è quello di passare per la **corrente monodimensionale**.

Corrente in cui stato locale (stato fisico-chimico e velocità) è, istante per istante, uniforme in ciascuna sezione trasversale e per la quale il trasporto diffusivo assiale è trascurabile rispetto al trasporto convettivo.

Come già accennato in precedenza la corrente monodimensionale è un modello fluido dinamico in cui si suppone che le grandezze del sistema varino non solo nel tempo, ma anche in una direzione dello spazio. il sistema evolve lungo una coordinata curvilinea mantenendo sempre omogenee le proprie caratteristiche sui piani ortogonali a tale direzione.

- Si passa a modelli a **parametri distribuiti**, non più solo funzione del tempo;
- Si limita la variazione nello spazio ad una sola coordinata, limitando lo studio a fenomeni di tipo convettivo.

I bilanci per una CM:

L'inserimento di una coordinata spaziale cambia il modo in cui vengono costruiti i bilanci, dato che ora **non** possiamo più fare riferimento a correnti entranti ed uscenti: si deve infatti essere in grado di **descrivere anche l'interno del sistema stesso**. Il punto di partenza diviene dunque un volumetto (o meglio sezione) infinitesimo, interno alla CM, che verrà inizialmente considerato come il nostro sistema.

La forma generale di un bilancio di una grandezza generica nella corrente monodimensionale è dunque la seguente:

$$\frac{\partial \psi'''}{\partial t} + v \frac{\partial \psi'''}{\partial s} = \psi'' S_I''' + \psi'' S_g'''$$

Per la **concentrazione massica**

$$(\psi''' = \dot{m}''' = \frac{m}{v} = \rho)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + v \frac{\partial \rho}{\partial s} = 0 \\ \frac{\partial \rho_i}{\partial t} + v \frac{\partial \rho_i}{\partial s} = \dot{m}_{i,g}''' = v_i M_i R \end{cases}$$

Per la **concentrazione molare**

$$(\psi''' = \dot{n}''' = \frac{n}{v} = c)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial s} = \dot{n}_g''' \\ \frac{\partial c_i}{\partial t} + v \frac{\partial c_i}{\partial s} = \dot{n}_{i,g}''' = v_i R \end{cases}$$

Applicazioni:

L'andamento della concentrazione di una CM **stazionaria** con reazione di ordine "a", può essere ottenuta considerando i bilanci visti in precedenza. Che per reazioni del primo ordine si riduce a:

$$v \frac{\partial c_i}{\partial s} = -k c_i$$

Tale relazione si riconosce matematicamente equivalente a quelle già viste per una FPM **non stazionaria**, una volta che si sostituisce la variabile spaziale con quella temporale. Per tale sistema varranno dunque le stesse relazioni viste per quel tipo di reattore. Si noti poi che per un sistema di lunghezza L la grandezza L/v diviene corrispondente al tempo di permanenza del fluido nel sistema e dunque assume un significato analogo al parametro θ già visto per la FPM.