1. VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE

Eleonora Beccaloni (a), Laura Achene (a), Paolo Collarile (b), Andrea Ranzi (c), Daniele Gnagni (d), Mirco Carnevalini (e), Franca Maria Buratti (a), Emanuela Testai (a), Martina Menichino (a), Federica Scaini (a), Maria Eleonora Soggiu (a)
(a) Dipartimento Ambiente e Salute, Istituto Superiore di sanità-Roma
(b) Dipartimento di Prevenzione, Azienda Sanitaria Universitaria Friuli Centrale, Udine
(c) Agenzia Regionale per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia dell'Emilia-Romagna, Struttura Tematica Ambiente Prevenzione e Salute- Modena
(d) Dipartimento di Prevenzione, Azienda Sanitaria Unica Regionale Marche – Area Vasta 2- Fabriano
(e) Dipartimento di Prevenzione, Azienda Sanitaria Unica Regionale Marche – Area Vasta 2 - Castelfidardo

1.1. Introduzione

La Valutazione dell'Esposizione (VdE), ai fini della Valutazione di Impatto Sanitario (VIS), è quella parte della procedura di valutazione del rischio che qualitativamente determina le vie di esposizione rilevanti per il caso studio e quantitativamente stima la dose di sostanza/e a cui gli individui della popolazione/comunità sono esposti con una particolare attenzione a individui vulnerabili, rappresentati da gruppi quali bambini, adolescenti, anziani, e altri che potrebbero evidenziarsi per ogni studio specifico. La valutazione dell'esposizione nella VIS deve partire dall'accurata conoscenza dei fattori di rischio presenti sul territorio in studio (conoscenza del background), ovvero i fattori di pressione già esistenti, ai quali il progetto in studio, oggetto della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) che include la VIS aggiunge il proprio contributo.

La VdE è una procedura scientifica che studia i processi che si verificano nell'interfaccia tra un ambiente che contiene determinati elementi inquinanti e la popolazione che vive in quell'ambiente, quantificandone il contatto nello spazio e nel tempo (US EPA, 2019). La VdE studia, quindi, l'ambiente in senso ampio, includendo il comportamento delle sostanze/agenti nell'ambiente, le caratteristiche e le attività dei recettori umani e le modalità che portano l'uomo ad entrare in contatto con questi, per arrivare infine a stimare la dose di sostanza espressa come dose di esposizione 'esterna' e quando possibile la dose di esposizione 'interna'. La VdE identifica attraverso quali vie le sostanze possono venire in contatto con l'individuo o con la popolazione per entrare infine nell'organismo ed esprimere l'effetto sanitario avverso. Come noto le vie di esposizione sono rappresentate da quella inalatoria, orale e cutanea. Ogni studio rappresenta un caso specifico che individua i percorsi e le vie di esposizione, con la consapevolezza che è verosimile che la popolazione/comunità sia esposta ad un mix di sostanze tramite le diverse vie determinando quella che si chiama *esposizione aggregata* (esposizione alla stessa sostanza per più vie) ed *esposizione cumulata* (esposizione a due o più sostanze per la stessa via).

Come noto la VdE rappresenta una delle fasi della procedura di Valutazione del Rischio (VdR) descritta da:

1. *Identificazione del pericolo della sostanza/agente*
   consiste nell'individuare gli effetti avversi (effetti sistemici o locali, tossici, mutageni o cancerogeni) che potrebbero verificarsi a seguito dell'esposizione a un agente, attraverso l'analisi struttura attività (*Structure-Activity Relationship*, SAR), test *in vitro*, saggi su animali e studi epidemiologici;

2. *Valutazione della relazione dose-risposta*
   stima la relazione quantitativa tra esposizione/dose ad un agente e la risposta dell'organismo, generalmente ma non esclusivamente derivata da test di tossicità animale;
3. *Valutazione dell'esposizione*
   stima la via, la dose e la durata d'esposizione osservabile e prevedibile;
4. *Caratterizzazione del rischio*
   stima la probabilità che si verifichino gli effetti (di cui al punto 1 e 2) nella popolazione esposta, oggetto di studio, con le modalità e ai livelli identificati nella fase di VdE (punto 3) (WHO, 2010).

La prima fase della VdE è dedicata allo studio delle caratteristiche chimico-fisiche della sostanza. Le sostanze, sia di origine naturale (già presenti nell'ambiente), che di origine antropica, possono muoversi nell'ambiente tra i vari comparti (aria, acqua, suolo, sedimenti), in funzione delle trasformazioni che le sostanze stesse possono subire (processi di idrolisi, biodegradazione, ossidazione) e soprattutto in funzione delle loro caratteristiche chimico-fisiche. Queste ultime ne determinano il destino ambientale e la ripartizione nelle diverse matrici e quindi un eventuale accumulo prioritario in un dato comparto ambientale, con conseguente ricaduta sulle vie di esposizione.

La VdR prevede anche lo studio della attività biologica di una sostanza ed eventualmente i meccanismi di azione che portano ad identificarne il pericolo, in termini di tossicità e/o cancerogenesi, e a definire la relazione dose-risposta e su questa base derivare i valori di riferimento in funzione di tempo di esposizione, ovvero definendo le dosi di sostanza che può essere assunta dall'organismo, per un certo periodo di tempo (giorni, anni, tempo vita) senza produrre verosimilmente effetti avversi, considerando i dovuti fattori di incertezza (o sicurezza). Per la descrizione più accurata e di dettaglio su queste fasi della valutazione del rischio si rimanda al Capitolo 2. La fase di VdE, quindi, si applica al mondo reale andando a studiare la dose di esposizione per la popolazione oggetto di studio, con un'attenzione ai segmenti di popolazione più vulnerabile, per comprendere poi se lo *scenario "reale"* d'esposizione prefigura un rischio per la salute (Paustenbach, 2000).

La Figura 1.1 descrive il flusso continuo degli eventi e dei fenomeni chimico/fisici/biologici, con le relative attività di studio, la cui conoscenza è necessaria per completare correttamente uno studio di valutazione dell'esposizione con particolare attenzione alla procedura di VIS sviluppata all'interno della procedura di VIA.

Quello a cui ci si riferisce come lo "scenario reale" descrive la catena degli eventi che porta quella specifica popolazione e/o comunità (e quindi gli individui che la compongono) ad entrare in contatto con la/e sostanza/e connessa/e alle attività dell'impianto oggetto di studio e sottoposto a VIA.

La Figura 1.2 rappresenta la complessità della valutazione dell'esposizione in termini di diverse sorgenti di emissione che prefigurano e determinano una molteplicità di vie e percorsi di esposizione. La Figura 1.2 mostra come in un territorio la popolazione sia sottoposta a vari fattori di rischio, derivanti sia dalle attività comuni legate ai nostri comportamenti (es. uso dei veicoli, riscaldamento) sia ad attività diverse quali quelle produttive (Dogliotti *et al.*, 2019). Nella VIS applicata alla VIA, è necessario identificare le sostanze attribuibili alle attività del progetto in studio, per capire come queste si distribuiscono nell'ambiente e si vanno ad aggiungere a quanto già presente sul territorio (livelli di fondo o background) (ISPRA, 2016).

La VE descritta in questo documento, studia come il progetto in VIA aggiunge il suo impatto nel contesto ambientale esistente, con il fine di valutare se il contributo aggiuntivo è compatibile in termini di salute per la popolazione esposta (SNPA, 2016).

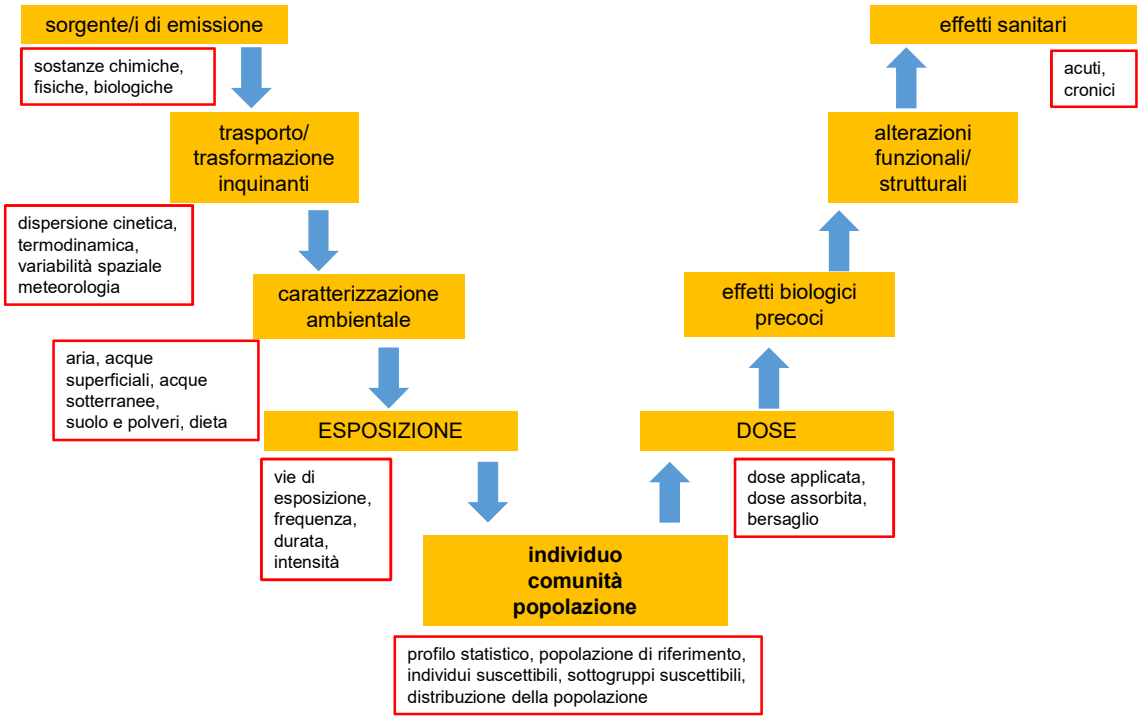

Figura 1.1. *Continuum* delle azioni che legano l'ambiente, la sua contaminazione, l'esposizione della popolazione e i conseguenti effetti sanitari avversi

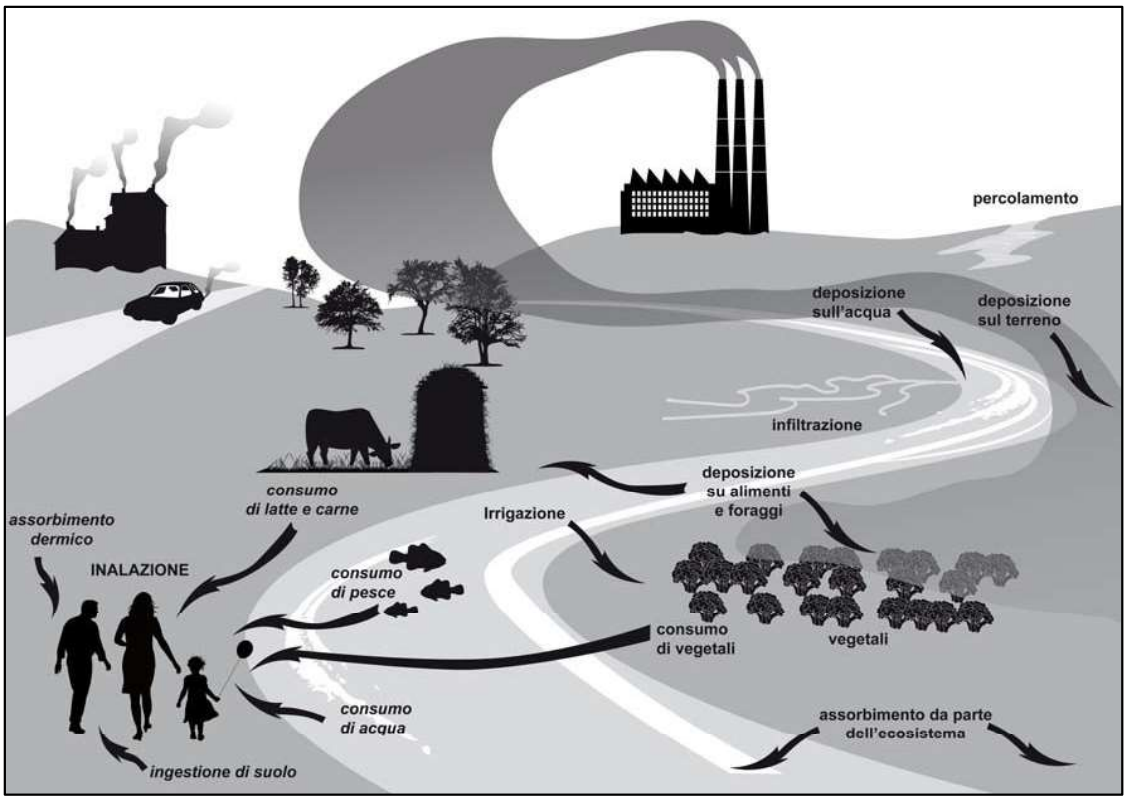

Figura 1.2. Complessità relativa alla valutazione dell'esposizione dove le diverse vie di esposizione si attivano a partire da molteplici fattori di rischio a cui è esposta la popolazione

Tale situazione si presenta, per esempio, quando le attività del progetto proposto producono emissioni in atmosfera di sostanze che già sono presenti nell'ambiente, quali il particolato e gli ossidi di azoto. Il contributo che si aggiunge con la nuova opera deve essere valutato nel suo contesto territoriale, poiché gli effetti sulla salute sono determinati dall'esposizione complessiva a quella sostanza.

Un altro aspetto che la VdE deve considerare, e che fa parte della costruzione dello scenario reale, sono i comportamenti e gli stili di vita della popolazione/comunità interessata. Questo sottolinea ancora una volta come la VdE debba essere sito specifica, dato che i comportamenti modulano fortemente le modalità di contatto tra individuo e matrice inquinata, comportamenti che a loro volta sono influenzati, oltre che dalle caratteristiche fisiche e biologiche dell'individuo, dalle caratteristiche locali quali il clima e la posizione geografica, dall'organizzazione e dalla storia socioeconomica e culturale del territorio. Questi aspetti ci ricordano come i diversi determinanti che vanno dalla zona di residenza e dalla tipologia di casa, a occupazione, istruzione e attività giornaliere condotte siano responsabili dell'ampia variabilità di esposizione che si traduce in un altrettanto ampio intervallo di esposizioni (dosi) della popolazione in studio. Lo studio realistico di quello che avviene è necessario per valutare la compatibilità dell'opera sul territorio, evidenziando, ove esistano, gli elementi che portano gli individui, o alcuni gruppi di popolazione, ad essere soggetti ad una più alta esposizione. Da questi può discendere la selezione di azioni specifiche (es. modifiche progettuali/gestionali) per verificare il raggiungimento di una più ampia compatibilità in termini di riduzione dell'esposizione.

Nei paragrafi che seguono descriveremo come affrontare le tematiche che fanno parte della scienza dell'esposizione e che comprendono la definizione della popolazione esposta, la costruzione dello scenario di esposizione per i gruppi di popolazione interessati, la valutazione di dettaglio delle esposizioni per vie specifiche, le problematiche dell'esposizione aggregata e cumulata. Inoltre, verranno individuate e quantificate alcune variabili utili alla stima quantitativa della dose, evidenziando, quando è possibile, le differenze per sottogruppi di popolazione.

1.2. Dato ambientale ai fini della valutazione dell'esposizione

La VIA prevede nella sua procedura lo Studio di Impatto Ambientale (SIA), che rappresenta la parte centrale della procedura ambientale di VIA e viene condotto secondo le linee guida predisposte dal Sistema Nazionale di Protezione Ambientale (SNPA) (*Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale*) come previsto dal DL.vo 104/2017 alla parte seconda del Testo unico dell'ambiente (SNPA, 2020). In analogia alle LG VIS, il decreto affida al sistema delle agenzie la predisposizione delle LG per l'elaborazione della documentazione finalizzata allo svolgimento della valutazione di impatto ambientale.

Il DPCM 27 dicembre 1988 ha previsto, che la domanda di compatibilità ambientale presentata dal Proponente debba includere il SIA che, per gli aspetti di interesse ai fini della VIS, si articola nelle seguenti fasi

- Definizione e descrizione dell'opera e analisi delle motivazioni e delle coerenze;
- Analisi dello stato dell'ambiente (Scenario di base);
- Analisi della compatibilità dell'opera;
- Mitigazioni e compensazioni ambientali;
- Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA).

In questo contesto, lo studio dell'interazione dell'opera con l'ambiente che l'accoglie riveste ampio spazio ed è principalmente condotto effettuando una valutazione complessiva, qualitativa

e quantitativa, degli impatti sul sistema ambientale esistente e sulla sua prevedibile evoluzione. Gli impatti da valutare devono includere quelli positivi e negativi, diretti e indiretti, reversibili e irreversibili, a breve e a lungo termine, quelli eventuali transfrontalieri generati sia durante le fasi di cantiere che di esercizio.

Detti impatti devono essere studiati e valutati all'interno del relativo contesto territoriale tenendo conto delle altre opere esistenti. L'effetto cumulativo con gli impatti derivanti da altri progetti esistenti o anche già approvati deve essere valutato tenendo conto di criticità ambientali esistenti, riconducibili all'uso delle risorse naturali, alla presenza di aree di particolare sensibilità ambientale. Tutto lo studio deve trovare un'adeguata rappresentazione con l'uso di strumenti quali matrici, grafici e cartografie.

Sebbene sia una valutazione approfondita, il SIA può comunque non essere del tutto rispondente alle esigenze di uno studio VIS e, in particolare, deve essere attentamente verificato che le sue analisi siano idonee per procedere anche con le valutazioni di esposizione della popolazione interessata, aspetto introdotto nella procedura autorizzativa solo recentemente con la VIS. Spesso, infatti, lo studio ambientale analizza l'impatto in termini comparativi con valori definiti dalle normative di settore per uno specifico comparto ambientale, non procedendo quindi con una stima più puntuale di come e quanto la matrice ambientale sia impattata. Per gli obiettivi della VIS, tale aspetto deve essere invece necessariamente approfondito perché le valutazioni dell'impatto sulle componenti ambientali sono la base per giungere a stimare le dosi di sostanze a cui la popolazione è esposta, partendo dall'identificazione di opportuni scenari di esposizione.

Un esempio di questa *divergenza tra l'approccio ambientale e sanitario* si può riscontrare quando si valuta l'impatto delle emissioni di inquinanti in atmosfera dall'impianto in progetto, in particolare per gli inquinanti inclusi nella normativa di settore (DL.vo 155/2010). Generalmente queste emissioni vengono valutate rispetto al contributo che apportano ai livelli di concentrazione in aria ambiente da confrontare con i riferimenti relativi alla qualità dell'aria, come previsti dal succitato decreto. La valutazione dal punto di vista ambientale viene usualmente effettuata sul solo contributo che l'emissione produce in termini di concentrazioni, accertandosi che queste rimangano inferiori ai valori definiti dalla normativa. Dal punto di vista sanitario questo approccio non è sempre cautelativo né di tutela per la salute poiché il contributo dell'impianto in progetto si inserisce in un contesto ambientale già interessato, talvolta compromesso, da valori di concentrazione degli inquinanti più o meno elevate. La valutazione dal punto di vista sanitario deve diversamente comprendere come il contributo dell'impianto, anche stimato quantitativamente basso dell'impianto, si inserisca nel contesto territoriale preesistente, sul background dell'area. Questo perché l'esposizione della popolazione alle concentrazioni dell'inquinante X con i conseguenti effetti sanitari avversi sono il risultato dell'integrazione dei singoli contributi provenienti dalle diverse sorgenti di pressione responsabili per l'inquinante X. L'approccio puramente ambientale porta spesso i proponenti a concludere lo studio dei livelli ambientali di concentrazione ritenendoli accettabili per la normativa sulla qualità dell'aria, mentre per l'approccio sanitario è necessario proseguire con una valutazione di maggior dettaglio sulle concentrazioni a cui la popolazione può essere esposta. Questo per due motivi: i) il primo perché l'esposizione all'inquinante X potrebbe condividere effetti sanitari avversi con l'esposizione al contaminante Y e quindi conoscerne i livelli di esposizione sarà poi necessario nel momento in cui debba essere valutato il rischio per esposizione combinata; ii) secondo perché per alcuni inquinanti i valori di qualità dell'aria definiti normativamente non sono protettivi per la salute (es. PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2, O_3) (WHO, 2021). Questo aspetto verrà affrontato più nel dettaglio più avanti.

Un altro aspetto che merita un approfondimento ai fini della VIS e che rimarca una differenza rilevante tra valutazione ambientale e sanitaria è l'individuazione corretta dell'area di interesse, ovvero l'area dove gli impatti del progetto hanno la potenzialità di esprimersi in termini di effetti sulla salute.

La definizione dell'area di studio rappresenta l'areale geografico entro il quale saranno valutati gli impatti sulla salute.

Per contaminazioni che interessano il suolo (mezzo immobile) o le acque (mezzo a mobilità ridotta, determinata dalla presenza di ostacoli di tipo fisico) è in genere possibile determinare l'estensione dell'area contaminata sulla base di piani di campionamento dettagliati e conoscendo le caratteristiche geologiche e idrologiche del sito (es. perimetrazione di siti contaminati, definizione del bacino idrografico). Nel caso di sorgenti di emissioni in atmosfera (mezzo ad elevata mobilità, continuamente rimescolato e non confinato da barriere fisiche) è in genere possibile definire gradienti di concentrazione attraverso l'uso di misure o modelli fisici, ma non è semplice delimitare un'area precisa al di fuori della quale la contaminazione è assente.

La definizione dell'area di studio influisce su diverse componenti fondamentali nei successivi passaggi relativi alla valutazione degli effetti sulla salute, come:

- la definizione della numerosità della popolazione esposta, da cui dipende fortemente il calcolo dei casi attribuibili all'impatto ambientale;
- la definizione dell'incidenza di background delle patologie, da cui dipende sia il calcolo dei casi attribuibili sia l'interpretazione dell'accettabilità degli impatti sanitari;
- l'identificazione di eventuali recettori sensibili.

Nel caso di valutazioni riferibili a sorgenti puntuali (es. procedure autorizzative tipo VIA), rilevante ai fini delle linee guida VIS, il riferimento principale è rappresentato dal SIA che dovrebbe definire l'area interessata agli impatti attraverso modellistica di diffusione/ricaduta, superando l'approccio del passato basato su un raggio entro il quale considerare gli effetti della ricaduta dell'inquinamento dovuto alla sorgente puntuali.

Per questa valutazione (auspicabilmente basata su approcci modellistici) alla base della definizione dell'area di studio, è cruciale la considerazione dei valori quantificabili dell'inquinante legato alla sorgente.

L'estensione dell'area di studio è funzione della tipologia di sorgente da valutare (puntuale, lineare, areale), come comunque definita dal SIA.

Per sorgenti puntuali fisse si intendono fonti di inquinamento ben localizzate e individuabili (es. camino di un impianto industriale, punto di scarico di un depuratore) e mobili (es. taluni macchinari utilizzati in agricoltura) a seconda della loro dislocazione nello spazio.

Le sorgenti lineari invece, sono assimilabili a linee, come ad esempio le infrastrutture stradali, le rotte aeree e navali. La stima viene effettuata tramite l'uso di opportuni indicatori e fattori di emissione, ma si rende necessaria l'applicazione di metodologie dettagliate e complesse e specifica modellistica.

Per sorgenti diffuse/areali si intendono quelle attività antropiche (riscaldamento ambientale, attività produttive, servizi, zootecnia, agricoltura, serbatoi di stoccaggio, ecc.) e naturali (foreste, praterie, ecc.) geograficamente estese, per le quali le emissioni si stimano a partire da indicatori di attività e da fattori di emissione specifici. Sono considerate areali, ad esempio, le emissioni dovute a serbatoi di stoccaggio industriali o l'insieme delle emissioni dei veicoli di un'area urbana.

Le sorgenti emissive, inoltre, possono essere classificate anche come continue o discontinue in base alle modalità di "funzionamento" nel tempo (es. nel corso dell'anno, della giornata e delle stagioni).

La definizione dell'area di studio richiede la valutazione di diverse componenti: in primis indicazioni modellistiche del SIA che consentono la selezione dell'area di riferimento, la numerosità della popolazione, la vicinanza con altre fonti.

La definizione dell'area d'interesse è utile per la costruzione dello scenario d'esposizione.

Il legame teorico tra fonte, agente inquinante e vie di esposizione è rappresentato dal modello concettuale, che si sviluppa seguendo un *framework source-to-outcome*.

Il modello concettuale (US EPA, 2019) prevede l'identificazione dei seguenti punti:

- Individuazione della popolazione esposta: chi è potenzialmente esposto?
- Sorgenti: quali sono le fonti di emissione?
- Fattori di stress: quali sono gli agenti inquinanti emessi?
- Percorsi, trasporto, destino e vie di esposizione: come gli agenti inquinanti raggiungono il bersaglio umano (la popolazione)?
- Caratteristiche dell'esposizione: quali sono la frequenza, la durata, l'entità dell'esposizione?
- Multiesposizione: è verosimile un'esposizione contemporanea a più sostanze (o a miscele), per la stessa via o per vie diverse?

Una volta definito il livello di esposizione della popolazione attraverso il modello concettuale e scenario espositivo, è possibile confrontare la dose/concentrazione con valori di riferimento *health based,* con modalità diverse a seconda del tipo di effetto sulla salute (per la descrizione più accurata e di dettaglio su queste fasi della valutazione del rischio si rimanda al Capitolo 2).

Lo sviluppo di tutti i punti precedenti consente quindi di descrivere il modello concettuale d'esposizione, che rappresenta le relazioni e i percorsi che si attivano partendo dalle sorgenti di emissione per arrivare a interessare l'individuo umano e la popolazione in generale (Figura 1.3).

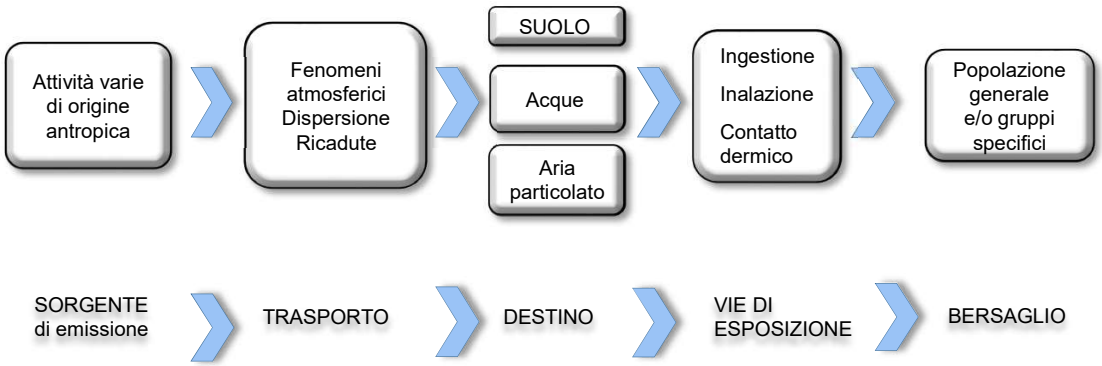

Figura 1.3. Percorsi in grado di attivare le diverse vie /percorsi

1.3. Scenario di esposizione

Lo scenario di esposizione deve descrivere le modalità con cui gli individui della popolazione entrano in contatto con le sostanze tossiche e in senso più generale con la contaminazione presente nella specifica matrice ambientale (Soggiu, 2010). Ne consegue che lo studio dello scenario deriva necessariamente dallo studio precedente di dettaglio di come l'impianto impatta sul territorio, ovvero quali sono le sue emissioni e su quali matrici vanno a determinare una contaminazione, che, avendo la potenzialità di entrare in contatto con gli individui della popolazione interessata, potranno produrre gli effetti sanitari avversi.

Anche se nel mondo reale la popolazione raramente è esposta ad un isolato fattore di rischio ma piuttosto ad un insieme di fattori (es. più sostanze e agenti chimici e/o fisici e/o biologici) (US EPA, 2011) per le diverse vie, inalatoria, orale e, anche se più rara, cutanea, generalmente la scienza dell'esposizione affronta ogni fattore di rischio singolarmente, per poi ricomporre un'esposizione cumulativa o aggregata nella valutazione finale. Questo aspetto sarà trattato nell'apposto paragrafo.

Data la molteplicità dei gruppi di individui che compongono una popolazione, generalmente in uno studio di esposizione dovrebbero essere individuati più scenari, ciascuno corrispondente allo specifico segmento di *popolazione interessata*. Infatti, le caratteristiche e modalità con cui gli individui sono esposti cambiano durante il corso della vita e dipendono dall'età, dai comportamenti, dalle attività condotte, dalla dieta, dallo stato socioeconomico e culturale di ciascuno. In generale la valutazione dell'esposizione dovrebbe studiare con attenzione i *gruppi di popolazione vulnerabili* ovvero i gruppi che per qualche specifica caratteristica sono potenzialmente a maggior rischio di sperimentare un'esposizione più elevata, rispetto alla popolazione generale, o di essere maggiormente sensibili agli effetti avversi associati all'esposizione. I gruppi che generalmente sono identificati come vulnerabili e per i quali è opportuno procedere con una valutazione dedicata sono spesso, ma non necessariamente, i bambini (US EPA, 2006) e gli anziani (US EPA, 2005). Questi, infatti, hanno caratteristiche biologiche e comportamentali tali da renderli maggiormente a rischio. I bambini, che si distinguono in fasce che vanno dagli infanti agli adolescenti, hanno una particolare vulnerabilità determinata sia dalle condizioni di sviluppo biologico sia da un pattern comportamentale (es. portare frequentemente mani e oggetti alla bocca) che può produrre maggiori esposizioni; gli anziani, parimenti, per la presenza di patologie pregresse, uso di terapie multiple, e per comportamenti specifici possono essere anch'essi sia maggiormente esposti sia essere più suscettibili ad effetti avversi anche a parità di esposizione. Il genere rappresenta un'altra variabile importante che può prefigurare una diversa vulnerabilità. Potranno essere identificati altri gruppi di popolazione vulnerabili, in particolare quelli legati alla frequentazione di alcuni target sensibili presenti sul territorio (scuole, ospedali, aree dedicate ad attività ricreative, arenili, palestre, ecc.). Ogni studio valuterà l'opportunità di procedere con una valutazione sui gruppi ritenuti particolarmente vulnerabili e sensibili, anche se si ritiene generalmente opportuno effettuare un approfondimento sulle due prime categorie citate dei bambini e degli anziani.

Lo studio deve quindi procedere con la costruzione dello specifico scenario di esposizione del gruppo di popolazione a cui si riferisce, definendo in primo luogo *durata, frequenza* ed *entità dell'esposizione*.

Con *durata* si intende la lunghezza del periodo di tempo in cui è possibile il contatto dell'individuo con la sostanza. Questa può essere di giorni, settimane, mesi, anni. Per esempio, se si valuta la fase di costruzione dell'opera, l'esposizione avrà una durata legata alla durata dei lavori, generalmente alcuni mesi. Diversamente, se si valuta la fase di esercizio di un impianto, dove questi lavorano a ciclo continuo, la durata dell'esposizione può essere pensata come continua per il tempo vita dell'impianto.

La *frequenza di esposizione* è definita come il numero di eventi espositivi all'interno della durata del tempo di osservazione. Tornando all'esempio della fase di costruzione, poiché generalmente i lavori sono condotti durante alcune ore della giornata, la frequenza d'esposizione sarà giornaliera, per 5 giorni lavorativi a settimana, rappresentata dalle ore al giorno in cui si svolgono i lavori, da considerare per la durata dei mesi di costruzione. Anche durante l'esercizio a ciclo continuo di un impianto è possibile identificare, per esempio, una frequenza di esposizione giornaliera legata alla mobilità giornaliera delle persone con la relativa frequentazione di alcuni ambienti/aree del territorio identificate come aree a maggior impatto.

L'*entità* è legata alla quantificazione dell'esposizione (dose). Il calcolo cerca quindi di riprodurre matematicamente il modello concettuale di esposizione. Genericamente, la dose potenziale si esprime come:

$$\mathrm{DOSE}_{\mathrm{pot}} = \frac{Conc \cdot Rateo \cdot ED}{PESO_{Corporeo}}$$

dove: $DOSE_{pot}$ rappresenta la quantità di inquinante disponibile all'assorbimento (dose esterna) attraverso le strutture di barriera nei siti di contatto (es. pelle, mucosa intestinale, epitelio polmonare).
Conc è la concentrazione della sostanza chimica nel mezzo ambientale;
Rateo è la quantità di aria inalata o di cibo ingerito, definito per unità di tempo, secondo la via espositiva (inalatoria, orale, cutanea);
ED è la durata temporale dell'esposizione.

Generalmente, la quantità assunta è normalizzata al $PESO_{Corporeo}$ degli individui per ottenere la dose potenziale.

Questa formula generica viene opportunamente declinata per le diverse vie di esposizione, come descritto nei paragrafi successivi (US EPA, 2019).

1.4. Esposizione per via inalatoria

Obiettivo di questo paragrafo è fornire al Proponente una metodologia chiara e facilmente applicabile per la definizione e caratterizzazione della popolazione esposta, oggetto di indagine, e la relativa quantificazione dell'esposizione per via inalatoria

1.4.1. Area di studio

L'area di studio rappresenta l'areale geografico entro il quale saranno valutati gli impatti sulla salute conseguenti agli impatti sull'ambiente e in particolare sulla matrice aria.

Nel caso degli inquinanti emessi in atmosfera, quest'area viene generalmente identificata tramite applicazione di idonea modellistica che simula l'emissione e la dispersione degli inquinanti in atmosfera definendo gradienti di concentrazione di ricaduta degli inquinanti. L'area sarà selezionata includendo le zone per le quali il modello ha identificato concentrazioni di interesse per gli aspetti di salute.

Nel caso di emissioni in aria riferibili a sorgenti definite e localizzate, il documento di riferimento è il SIA che dovrebbe definire l'area interessata dagli impatti attraverso modellistica di diffusione/ricaduta, superando l'approccio del passato basato su un raggio entro il quale considerare gli effetti dell'inquinamento dovuto alla sorgente puntuali.

Per questa valutazione (auspicabilmente basata su approcci modellistici) alla base della definizione dell'area di studio, è cruciale la considerazione dei valori quantificabili dell'inquinante legato alla sorgente. La forma ed estensione dell'area di studio è funzione della tipologia di sorgente da valutare (puntuale, lineare, areale), come comunque definita dal S.I.A e della meteorologia del sito.

Per gli aspetti di impatto sulla salute è rilevante la distribuzione geografica della popolazione sul territorio.

Dalla definizione dell'area di studio dipendono diverse componenti fondamentali dei processi di valutazione degli effetti sulla salute:

- la definizione della numerosità della popolazione esposta, da cui dipende fortemente il calcolo dei casi attribuibili all'impatto ambientale;
- la definizione dell'occorrenza di background delle patologie, da cui dipende sia il calcolo dei casi attribuibili che l'interpretazione dell'accettabilità degli impatti sanitari (*vedi* Capitolo 4 e 5);
- la definizione di eventuali recettori sensibili.

1.4.2. Dati di monitoraggio per l'identificazione della situazione di riferimento (background)

Un aspetto di particolare rilevanza è la conoscenza dello stato di qualità ambientale del territorio che sperimenterà i potenziali impatti determinati dall'attività dell'impianto in progetto. Focalizzando l'attenzione sugli inquinanti emessi in aria, il primo passo è sicuramente quello di raccogliere i dati derivanti dai sistemi di monitoraggio della qualità dell'aria, diffusamente distribuiti nelle diverse regioni italiane, riferiti ad un idoneo periodo (es. ultimi 5 anni) per comprenderne le tendenze, ovvero se le concentrazioni sono stazionarie nel tempo oppure in diminuzione o aumento. Queste costituiranno lo scenario di background su cui dovrà essere valutato l'apporto aggiuntivo determinato dalle emissioni dell'impianto in progetto.

Inoltre, una valutazione di dettaglio dovrà riguardare sia la rappresentatività dei dati misurati dalla rete di monitoraggio per l'area in studio, sia la sua esaustività in termini di dati riferiti a tutti gli inquinanti di interesse connessi alle emissioni dell'impianto. È infatti importante controllare che i dati di monitoraggio utilizzati siano riferiti alle diverse sostanze emesse dall'impianto in progetto e che ricadranno sul territorio. Come noto la rete di monitoraggio, disegnata sulla base delle indicazioni del DL.vo 155/2010, risponde a finalità diverse da quelle che riguardano la caratterizzazione di un'area industriale. Conseguentemente, se l'esercizio dell'impianto in progetto prevede emissioni di inquinanti non monitorati dalla rete, detti inquinanti dovranno essere caratterizzati e misurati tramite una campagna di studio *ad hoc* effettuata dal Proponente prima della realizzazione dell'opera. Le misure condotte nella fase *ante-operam* costituiranno il valore di background per le valutazioni successive (monitoraggio *post-operam*). Questo è il caso che riguarda l'ammoniaca, inquinante in genere non misurato dalle reti di monitoraggio della qualità dell'aria, ma frequentemente presente nelle emissioni in aria di numerosi progetti di impianti di combustione presentati in VIA dopo l'uscita delle LG VIS dell'ISS. In questi casi è necessario che il Proponente effettui una campagna di misura rappresentativa per l'area sia in termini spaziali sia stagionali al fine di produrre valori di background per le attività di valutazione, funzionali all'emissione del parere di autorizzazione e successivamente di monitoraggio *post-operam*. Queste attività devono essere sempre concordate con gli enti territoriali competenti per settore.

1.4.3. Popolazione esposta

I dati di popolazione sono generalmente reperibili a diversi livelli di disaggregazione, dal livello comunale fino alla disponibilità di informazioni a livello di numero civico di residenza (Bastone *et al.*, 2006; Soggiu *et al.,* 2007; Soggiu *et al.,* 2008).

Per gli scopi di una valutazione di impatto, considerando la necessità da parte di chiunque effettui la valutazione di recuperare le informazioni al massimo grado di disaggregazione possibile, si ritiene percorribile il livello di disaggregazione per *sezione di censimento*.

Tale informazione è liberamente scaricabile dal sito ISTAT (https://www.istat.it/it/archivio/104317) dove le informazioni riguardano i dati geografici delle sezioni di censimento e i dati di popolazione abbinati a ciascuna sezione. Si ritiene quindi che per gli obiettivi di una VIS condotta su un territorio ben delimitato sia opportuna una stima di popolazione esposta che aggreghi la popolazione a questo livello e non ad un livello superiore.

Nel caso di una sorgente puntuale (o lineare), la scelta dell'area di riferimento, individuata per fare gli opportuni confronti *ante* e *post-operam*, non si deve discostare troppo in termini di distanza dalla sorgente, da quelle utilizzate in letteratura per la stima dei rischi (*vedi* Capitoli 4 e 6).

1.4.4. Valutazione dell'esposizione

A partire dalle valutazioni effettuate nei due punti precedenti (distribuzione della popolazione a livello di sezione di censimento e disponibilità di modelli di ricaduta degli inquinanti), è quindi possibile calcolare l'esposizione agli inquinanti considerati per la popolazione interessata dalle ricadute dell'impianto in esame. Lo strumento informatico, ampiamente utilizzato, per effettuare tali valutazioni è quello dei Sistemi Informativi Geografici (GIS).

Una volta ottenuti i valori di concentrazione ambientale, come stimati dai modelli di ricaduta per esposizioni a inquinanti in aria, spesso non è necessario procedere alla valutazione della $DOSE_{pot,}$ perché sono disponibili valori di concentrazioni di riferimento *health based,* ad esempio le *Reference Concentration* della US EPA o di altre agenzie nazionali e internazionali quali *World Health Organization* (WHO) o Commissione Europea, che stabiliscono quali siano le concentrazioni nella matrice ambientale (es. in aria o in acqua) che prefigurano dosi (secondo scenari standard di esposizione) non in grado di indurre effetti significativi sulla salute. Tali riferimenti hanno quindi una valenza sanitaria in termini di livelli ambientali di concentrazione che proteggono da esposizioni in grado di determinare effetti avversi sulla salute, sia nel breve che nel lungo periodo. In questi casi, per la valutazione dei potenziali rischi è idoneo confrontare i livelli di concentrazione ambientale con i valori di riferimento *health based* (per i dettagli si rimanda al Capitolo 2). È comunque importante sottolineare che le stime di esposizione sono principalmente basate su modelli di ricaduta che possono avere ampie incertezze, determinate dall'accuratezza del dato di input utilizzato (es. sorgente emissiva e meteorologia dell'area). Conoscere o stimare quale sia l'incertezza è importante quando, nella fase di caratterizzazione del rischio, si procederà al confronto tra il dato stimato di esposizione e il valore di riferimento *health based*, per interpretare correttamente i risultati ottenuti, soprattutto nei casi in cui i due valori (esposizione stimata e valore di riferimento) non siano troppo distanti. Se, nella valutazione degli scenari *post-operam*, la stima dell'esposizione è stata condotta utilizzando valori di input "conservativi" si avrà verosimilmente una sovrastima dell'esposizione e si potrà procedere ad un 'raffinamento' della stima, o considerare che lo scenario conservativo utilizzato possa ragionevolmente escludere il verificarsi di effetti avversi. Al contrario, se gli input possono aver determinato una sottostima dell'esposizione, si dovrà procedere ad un miglioramento della valutazione, rendendola più 'realistica' e interpretare i dati con la dovuta cautela, perché possibili rischi per la popolazione potrebbero non essere esclusi (per i dettagli *vedi* Capitolo 2).

1.4.4.1. Approcci per la valutazione dell'esposizione da sorgente fissa

L'ambito nel quale ci si orienta nella trattazione della valutazione dell'esposizione applicabile a procedure di VIS inserite in contesti autorizzativi si muove sul dato di insieme, poiché non è di interesse procedere con stime a livello individuale ma piuttosto su tutta la popolazione, tenendo anche conto del ruolo predittivo di queste stime. In riferimento agli approcci di popolazione descritti nella Tabella 1.1, essendo molto raramente disponibile il dato di esposizione individuale tramite studi di biomonitoraggio (*vedi* Capitolo 2)*,* il livello 2 viene considerato il *gold standard,* dove la disaggregazione spaziale proposta è quella della sezione di censimento, come detto, liberamente disponibile dal sito ISTAT. La Tabella 1.1 riporta approcci utilizzati nella letteratura epidemiologica per caratterizzare l'esposizione delle popolazioni in studio, in ordine decrescente di accuratezza e precisione. Come detto sopra, la disponibilità di una modellistica di ricaduta delle concentrazioni degli inquinanti emessi da una sorgente fissa permette di considerare fattibile una misurazione quantitativa dell'esposizione basata sulla residenza dei soggetti appartenenti all'area di studio. Il successivo paragrafo sulla *Population Weighted Exposure* (PWE) dettaglia il metodo da utilizzare.

Tabella 1.1. Approcci per la valutazione dell'esposizione per tipologia di fonte inquinante puntuale

Tipologia delle misure	Esposizione	Esempi
1. Misurazioni personali quantitative	individuale	biomonitoraggio umano campionatori personali
2. Misurazioni quantitative dell'area in vicinanza della residenza o luogo dove si svolge l'attività umana	individuale / aggregata	modellistica di ricaduta delle concentrazioni
3. Misurazioni quantitative di surrogati di esposizione	aggregata	metri di strada ad alto traffico
4. Distanza dal sito e durata della residenza	aggregata	buffer + storia residenziale
5. Distanza o durata della residenza	aggregata	buffer o storia residenziale
6. Residenza o lavoro entro un'area geografica ragionevolmente vicina alla probabile fonte di esposizione	aggregata	comune di residenza analogo a quello dove è presente il fattore di rischio ambientale
7. Residenza o lavoro in un'area geografica definita (es. provincia) che include anche la fonte di esposizione	aggregata	provincia o AUSL di residenza

È possibile definire, quindi, l'esposizione di ogni soggetto appartenente alla popolazione in studio all'inquinante considerato, in base alla media dei valori che ricadono all'interno della sezione di riferimento. I valori derivano dalla sovrapposizione del modello ambientale alla popolazione esposta.

Al termine della stima dell'esposizione a livello di sezione di censimento, è possibile utilizzare un unico valore di concentrazione media della popolazione, grazie alla semplicità della formula del calcolo dei casi attribuibili.

Nella valutazione dell'esposizione inalatoria risulta infine efficace riportare una Tabella riassuntiva delle concentrazioni ambientali stimate, a valle dell'utilizzo della modellistica, secondo gli scenari emissivi simulati. In particolare, la Tabella 1.2 riporta un esempio di come descrivere i risultati nel caso di un confronto tra uno scenario emissivo *ante* e uno *post-operam* nell'ipotesi che l'intervento oggetto di VIS sia una modifica sostanziale di un impianto esistente con un nuovo impianto con performance tecnologicamente avanzate.

Tabella 1.2. Confronto *ante* e *post-operam* delle concentrazioni ambientali stimate dal modello sulle sezioni di censimento interessate dei comuni X e Y per l'emissione degli inquinanti A e B

Sezioni di censimento	Inquinante A *ante-operam*	Inquinante B *ante-operam*	Inquinante A *post-operam*	Inquinante B *post-operam*
Comune X				
Sez00001111	$C(x)_{A1}$	$C(x)_{B1}$	$C(x)'_{A1}$	$C(x)'_{B1}$
Sez00001112	$C(x)_{A2}$	$C(x)_{B2}$	$C(x)'_{A2}$	$C(x)'_{B2}$
Sez00001113	$C(x)_{A3}$	$C(x)_{B3}$	$C(x)'_{A3}$	$C(x)'_{B3}$
Sez00001114	$C(x)_{A4}$	$C(x)_{B4}$	$C(x)'_{A4}$	$C(x)'_{B4}$
Comune Y				
Sez00002221	$C(Y)_{A1}$	$C(Y)_{B1}$	$C(Y)'_{A1}$	$C(Y)'_{B1}$
Sez00002222	$C(Y)_{A2}$	$C(Y)_{B2}$	$C(Y)'_{A2}$	$C(Y)'_{B2}$
Sez00002222	$C(Y)_{A3}$	$C(Y)_{B3}$	$C(Y)'_{A3}$	$C(Y)'_{B3}$
Sez00002222	$C(Y)_{A4}$	$C(Y)_{B4}$	$C(Y)'_{A4}$	$C(Y)'_{B4}$

1.4.4.2. Approccio della *Population Weighted Exposure*

L'approccio proposto, basato su dati di pubblico dominio, consiste quindi nel calcolo della PWE (*Population Weighted Exposure*), ovvero la media dei valori di esposizione di ciascuna sezione, pesata per il numero di abitanti di ciascuna sezione (*vedi* Capitolo 6).

Ogni soggetto è esposto all'inquinante considerato come media dei valori che ricadono all'interno della sezione di riferimento. I valori minimo e massimo dell'inquinante nelle sezioni di censimento costituiscono intervalli di variabilità (equiprobabile) nella stima dell'esposizione, e sono considerabili come intervalli di confidenza, da usare per valutazioni di incertezza statistica.

La popolazione è esposta a livelli differenti di concentrazione degli inquinanti, a seconda della sua posizione geografica (residenziale) in relazione al modello di diffusione.

L'assunzione alla base di questa valutazione è la distribuzione uniforme della popolazione all'interno di ciascuna sezione di censimento. In base a questa assunzione, nel caso in cui l'area di studio comprenda solo parzialmente la superficie territoriale di una sezione di censimento, l'indicazione per la definizione della numerosità della popolazione esposta di quella sezione è la percentuale proporzionale alla parte di sezione che ricade nell'area di studio.

Si ritiene accettabile questa approssimazione, anche in virtù della fattibilità dell'approccio legata alla facile reperibilità dei dati necessari. L'ulteriore analisi della distribuzione intra-sezione complicherebbe notevolmente la fattibilità della procedura, diminuendone la possibilità di una applicazione su larga scala.

L'approccio proposto per la quantificazione della concentrazione di inquinante da assegnare a ciascun soggetto della popolazione internamente all'area di studio, che rappresenta la "dose esterna", è costruito a partire da dati liberamente accessibili. L'indicazione è il suo utilizzo per entrambi gli approcci di indagine sulla quantificazione dei rischi per la salute, ovvero l'approccio tossicologico e/o epidemiologico.

1.4.5. Calcolo della dose per via inalatoria

Nelle situazioni in cui vi è emissione di sostanze per le quali non sono disponibili valori di riferimento di concentrazioni ambientali *health based*, è necessario procedere con un calcolo di maggior dettaglio che porti a quantificare la dose di sostanza che viene inalata, al fine di confrontare questa con dosi di riferimento. A tale proposito, il calcolo della dose è condotto su *individui tipo* appartenenti alla popolazione in studio, scegliendo opportuni valori per le variabili fisiologiche individuali quali il rateo inalatorio e il peso corporeo (es. diverse tra adulti e bambini e tra attività diverse). Utilizzando questo approccio è fortemente raccomandato di effettuare la stima della dose per una serie di individui, oltre a quello adulto tipo, in modo da includere anche soggetti potenzialmente vulnerabili come bambini e anziani o soggetti che nell'area svolgono attività motorie importanti, che aumentano la frequenza respiratoria (Soggiu *et al.*, 2006). In questo caso dovranno essere selezionati i parametri individuali (peso e rateo) opportuni (Allegato al Capitolo 1). Come detto, il valore di dose così calcolata sarà poi confrontata con valori di dose di riferimento per stimare la probabilità che si verifichino effetti avversi per la popolazione in studio.

L'espressione matematica per il calcolo della dose necessita anche della quantificazione delle variabili riferite alla durata (ET e ED) e alla frequenza (EF) di esposizione, variabili che costituiscono lo scenario di esposizione specifico per il gruppo di popolazione di cui si sta stimando la dose. Anche queste variabili potranno presentare valori differenziati per i diversi gruppi ai quali si applica il calcolo della dose inalatoria.

La dose per esposizione inalatoria è calcolata secondo la seguente formula:

$$\mathrm{DOSE_{pot}} = \frac{Conc \cdot Rateo \cdot ET \cdot EF \cdot ED}{PESO_{Corporeo} \cdot AT}$$

dove: *Conc*: la concentrazione è espressa in unità di sostanza chimica per m^3 di aria (es. mg/m^3);
Rateo: è la quantità di aria inalata dall'individuo ed è espressa in m^3/giorno;
ET: tempo d'esposizione ore/giorno (24 h/giorno);
EF: Frequenza d'esposizione giorni/anno (350 giorni/anno);
ED: durata d'esposizione anni (es. 30 anni);
AT: tempo di vita medio (70 anni);
$PESO_{Corporeo}$: espresso in kg.

I valori di riferimento per alcune variabili della formula si riferiscono agli studi condotti dall'ISS nella'ambito della valutazione dell'esposizione (Bastone *et al.*, 2003; Soggiu *et al.*, 2005).

1.5. Esposizione per via orale

Il presente paragrafo ha come obiettivo di fornire i riferimenti bibliografici e metodologici chiari e inequivocabili per individuare e caratterizzare la popolazione oggetto di indagine e valutare il potenziale impatto degli inquinanti sui corpi idrici superficiali e profondi e sul suolo, distinguendo tra suolo ad uso residenziale e suolo uso agricolo, identificando il possibile passaggio nella catena alimentare, e quantificare l'esposizione per via orale, attraverso il consumo di acqua a fini potabili, e attraverso il consumo di alimenti.

1.5.1 Matrice Acqua

La presenza di contaminanti chimici nelle acque può essere di origine naturale o derivare da attività antropiche. I settori che contribuiscono maggiormente alla contaminazione sono: i) le attività industriali con inquinamento strettamente correlato al tipo di attività ma spesso associato a sostanze organiche alogenate e metalli pesanti; ii) le attività civili con le acque di scarico dei centri abitati in caso di mancanza di reti fognarie e/o di depuratori; iii) le attività agricole con inquinamento da pesticidi e fertilizzanti; iv) le discariche di rifiuti abusive con pericolo di percolamento e conseguente inquinamento delle falde acquifere; v) la ricaduta di particolato sospeso in aria.

In considerazione del fatto che la VIS rappresenta una valutazione sito specifica e la presenza di eventuali inquinanti nelle diverse risorse idriche è strettamente correlata allo studio delle pressioni antropiche/attività industriali e relativi processi utilizzati che insistono sul territorio[3], proporre un elenco definito di contaminanti delle acque non rappresenterebbe una procedura corretta e non sarebbe mai esaustivo. La localizzazione territoriale delle pressioni relative all'immissione di sostanze pericolose nell'ambiente sia di origine puntuale che diffusa è un passaggio importante per la successiva individuazione dei punti della rete di monitoraggio sui quali andare a ricercare le diverse sostanze. Una volta definite le sostanze che entreranno a far parte del protocollo analitico del monitoraggio, il passo successivo è la definizione della sito-specificità del protocollo stesso.

1.5.1.1. Comportamento dei principali inquinanti nei corpi idrici

Una volta immesse in un corpo idrico, il comportamento, la distribuzione, il destino, la degradazione delle sostanze chimiche dipenderanno sia dalle loro specifiche caratteristiche fisico-chimiche che da quelle del sistema acqua/sedimento ricevente, che determineranno in ultimo le

[3] come definito dal DL.vo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale"

concentrazioni della sostanza cui i diversi organismi saranno esposti. Il trasporto di contaminanti in forma disciolta darà luogo a diluizione e diffusione delle sostanze nella colonna d'acqua, mentre l'adsorbimento su particolato farà sì che esse si leghino ai solidi sospesi e alla frazione solida dei sedimenti. Questi ultimi, nel caso di contaminanti persistenti, andranno nel tempo a costituire, serbatoi di accumulo di queste sostanze e al tempo stesso fonti durevoli di emissione nel corpo idrico.

La conoscenza delle specifiche caratteristiche chimico-fisiche consente la valutazione della pericolosità ambientale/sanitaria, in particolar modo la combinazione di alcune caratteristiche quali la facilità di diffusione attraverso i corpi idrici, la stabilità che determina una elevatissima persistenza e diffusione, la tendenza al bioaccumulo nell'organismo degli animali, inclusi i mammiferi, e la capacità a biomagnificare tipica di molte sostanze organiche. Il rilascio può inoltre essere continuo o intermittente.

I principali inquinanti regolamentati, connessi alle attività industriali, sono i metalli pesanti, gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), i policlorobifenili (PCB) e le diossine. Negli ultimi anni stanno destando una certa preoccupazione anche sostanze che attualmente non sono sottoposte a regolamentazione, e quindi a misurazioni e controlli, ma che, per la loro presenza in diversi corpi idrici e per la loro persistenza negli ambienti acquatici, vengono definiti contaminanti emergenti, termine italiano con cui ci si riferisce a ciò che nel contesto europeo e internazionale viene da pochi anni definito con il termine *Contaminant of Emerging Concern* (CEC, o *Emerging Concern,* EC), utilizzato per riferirsi a sostanze chimiche, che potrebbero essere sotto esame per una futura regolamentazione.

Tra i contaminanti emergenti, più di recente, l'attenzione si è rivolta ai PFAS (*PerFluorinated Alkylated Substances*), una famiglia che raggruppa centinaia di composti che possono contaminare i corpi idrici e accumularsi all'interno di essi.

1.5.1.2. Area di studio

Per area di studio si intende l'area entro la quale si ha un impatto significativo sulla qualità delle acque a causa dell'introduzione nell'ambiente di uno specifico inquinante prodotto dal progetto sottoposto a VIS, e conseguentemente sulla salute della popolazione potenzialmente esposta, a causa del consumo di acqua contaminata dal medesimo inquinante. L'Area di studio dovrebbe essere definita attraverso l'analisi dei dati di monitoraggio preesistenti e la realizzazione di modelli di flusso e di trasporto degli specifici inquinanti attraverso i diversi corpi idrici, individuati attraverso il SIA. Per definire correttamente l'area di studio, il Proponente deve considerare il trasporto dei diversi inquinanti nei diversi corpi idrici, la loro concentrazione in essi e l'eventuale bio-accumulo. Per definire correttamente l'area di studio, è necessario, quindi, effettuare a priori uno studio approfondito della struttura geologica dell'area potenzialmente interessata dai modelli di flusso e di trasporto dei diversi inquinanti, al fine di individuare i corpi idrici potenzialmente esposti a possibili contaminazioni, attraverso modelli numerici che tengano conto delle caratteristiche geologiche del terreno e delle caratteristiche chimiche e fisiche dell'inquinante.

Il Proponente dovrà considerare l'eventuale impatto dei diversi inquinanti rilasciati nell'ambiente, sia sui corpi idrici superficiali (fiumi, laghi, mari) sia sui corpi idrici sotterranei (acque freatiche, acque artesiane, acque carsiche).

1.5.1.3. Dati di monitoraggio

La raccolta dei dati di monitoraggio esistenti, al fine di poter descrive lo stato delle qualità dei corpi idrici *ante-operam*, è onere del Proponente, il quale dovrà farsi carico di ricercare e

raccogliere le seguenti informazioni in tutte le sedi disponibili (ARPA, Autorità di bacino, Enti locali, Enti Gestori, ecc.):

- Modello acquifero dei diversi corpi idrici (superficiali, sotterranei e marini) su base regionale o su scala minore, se disponibile, per poter individuare i corpi idrici potenzialmente interessati dall'impatto del progetto;
- Dati di monitoraggio della matrice acqua (analisi chimico-fisiche, mappe di vulnerabilità degli acquiferi, ecc) al fine di valutare la contaminazione di fondo dei diversi corpi idrici (acque superficiali, sotterranee e marine).[4]

Se i dati di monitoraggio non sono disponibili o sono insufficienti deve essere il Proponente a farsi carico della campagna di monitoraggio su indicazione degli organi pubblici di controllo, qualora si prefiguri un rischio concreto di contaminazione delle acque;

L'organo pubblico di controllo definirà alcuni dati di base (indispensabili) che il Proponente dovrà raccogliere durante il monitoraggio, se non già disponibili;

L'organo pubblico di controllo definirà, inoltre, altri dati di monitoraggio aggiuntivi, qualora l'analisi dello specifico progetto ne renda necessario il monitoraggio *ante-operam*.

La raccolta dei dati di monitoraggio esistenti è di estrema importanza, per avere un quadro chiaro dell'ambiente dove andrà ad impattare l'opera oggetto del procedimento di VIS. Fonti importanti di tali dati sono rappresentate dal Piano di Gestione delle Acque il quale, ai sensi della Direttiva 2000/60/CE, rappresenta il "piano direttore" per tutto quello che concerne la tutela qualitativa e quantitativa delle acque superficiali e sotterranee. Per quanto riguarda le acque sotterranee, è importante anche conoscere i valori di fondo, distinguendo tra fondo naturale e fondo antropico[5]. Il censimento e l'analisi delle sorgenti antropiche note (puntuali e diffuse) presenti e passate che insistono o hanno insistito sull'area di interesse è altro aspetto rilevante.

Qualora i dati quanti-qualitativi necessari riferiti agli ultimi anni di monitoraggio dei corsi d'acqua interessati, non dovessero essere disponibili e/o facilmente accessibili, è necessario farne specifica richiesta agli Enti territoriali di competenza (ARPA, Enti Locali, Enti Gestori, altri Soggetti).

In generale le concentrazioni di esposizione possono essere stimate utilizzando i soli dati di monitoraggio, oppure combinando tali dati con quelli derivati da modelli di trasporto e destino ambientale.

L'uso dei soli dati di monitoraggio è applicabile quando l'esposizione avviene per diretto contatto col medium monitorato oppure nel caso in cui il monitoraggio è stato fatto direttamente nel punto di esposizione.

---

[4] La stima della contaminazione di fondo si basa di solito sui dati di monitoraggio disponibili e quindi la descrizione dello stato della qualità dei corpi idrici potenzialmente coinvolti dall'opera soggetta a VIS è facilmente realizzabile da parte del Proponente. Solo nei casi in cui i dati di monitoraggio siano insufficienti, o del tutto assenti, il Proponente dovrà farsi carico di effettuare misurazioni sul campo (di tipo geologico e chimico/fisico) che, supportate da eventuali analisi geostatistiche, potranno permettere la costruzione del modello concettuale che possa descrivere lo stato *ante-operam* dello stato della qualità delle acque.

[5] "Fondo naturale": distribuzione di una sostanza nelle matrici ambientali (suolo, sottosuolo materiale lapideo e acque sotterranee) derivante dai processi naturali (geochimici, biologici, idrogeologici naturali), con eventuale componente antropica non rilevabile o non apprezzabile).
"Fondo antropico": distribuzione di una sostanza nelle matrici ambientali (suolo, sottosuolo, materiale lapideo e acque sotterranee) derivante dai processi naturali (geochimici, biologici, idrogeologici), e da sorgenti antropiche diffuse. Per un dato contesto storico ambientale detta distribuzione rappresenta lo stato più indisturbato possibile rispetto a sorgenti localizzate, potenziali o attuali, anche esterne, che impattano sul territorio in esame.

Al contrario i soli dati di monitoraggio possono non essere adeguati quando i punti di esposizione sono distanti dai punti di monitoraggio, quando vi è mancanza di dati rappresentativi della distribuzione spaziale o temporale (si conosce l'attuale condizione del sito ma non si può fare una stima dell'avvenuta esposizione a lungo o a breve termine), oppure quando vi sono limiti nello strumento di misurazione, per cui i dati non evidenziano concentranzioni che sono al di sotto di tali limiti, ma che possono avere ancora effetti tossici. In tutti questi casi sarà necessario anche l'utilizzo di modelli ambientali.

La stima dell'eventuale contributo aggiuntivo alla contaminazione delle acque da parte del progetto in esame, si basa sull'implementazione di uno o più modelli numerici di flusso e di trasporto per specifico inquinante.

Nello sviluppo di un modello numerico di flusso e di trasporto è fondamentale considerare i seguenti aspetti:

- definizione della scala spaziale e temporale del fenomeno che si vuole modellare attraverso l'identificazione della fonte di inquinamento (puntuale, lineare o areale) e la descrizione della distribuzione e trasporto dell'inquinante nei corpi idrici potenzialmente coinvolti;
- identificazione delle informazioni di base, osservate sul campo, necessarie a realizzare una stima della contaminazione di fondo dei diversi acquiferi;
- valutazione dell'adeguatezza dei dati raccolti ai fini della costruzione del modello numerico di fondo; dati di monitoraggio insufficienti generano, mediante modelli numerici, stime di contaminazione poco robuste e a volte del tutto errate;
- calibrazione e validazione del modello;
- valutazione a posteriori dei risultati del modello mediante un'analisi di sensibilità.

1.5.1.4. Popolazione esposta

Individuare la popolazione esposta ad un inquinante assunto per via orale, attraverso il consumo di acqua per fini potabili, non è sempre facile, in quanto diverse variabili possono concorrere nell'individuazione della popolazione target.

Come già descritto nei precedenti paragrafi, l'area di studio, e conseguentemente la popolazione esposta, può trovarsi anche a notevole distanza dalla fonte della sostanza inquinante, a causa del trasporto dell'inquinante stesso lungo i corpi idrici. Inoltre, come descritto nei paragrafi precedenti, i substrati di specifici corpi idrici possono essere dei depositi di specifiche sostanze inquinanti, e queste possono essere rilasciate lentamente e per molto tempo, determinando un'esposizione potenzialmente pericolosa per la salute umana.

Partendo da questi presupposti, al fine di avere una stima attendibile dell'esposizione ad uno o più specifici inquinanti prodotti dal progetto soggetto a VIS, sarà opportuno avere diverse informazioni:

- *Distribuzione dei punti di prelievo (campo pozzi, punti di presa, ecc.) attraverso specifica richiesta ai Gestori delle reti acquedottistiche;*
- *Distribuzione dei punti di approvvigionamento di acqua a fini potabili della popolazione all'interno della area di studio servita dalla rete acquedottistica*
  Queste informazioni possono essere richieste ai Gestori locali delle reti acquedottistiche o, in mancanza di essi, attraverso la stima dell'approvvigionamento di acqua potabile attraverso pozzi artesiani mediante la consultazione e l'elaborazione di alcuni dati raccolti dall'ISTAT con il Censimento Generale di Popolazione.
- *Distribuzione della popolazione esposta*

Il livello minimo di disaggregazione, raccomandato per le valutazioni di impatto, è quello per sezione di censimento, essendo tale informazione liberamente scaricabile dal sito ISTAT, sia per quanto riguarda i dati geografici sulle sezioni di censimento sia per i dati di popolazione abbinati a ciascuna sezione. L'integrazione, mediante strumenti GIS, del dato sulla distribuzione della popolazione, aggregato per area censuaria, con i dati dei punti di prelievo e approvvigionamento delle reti idriche permetterà di avere una buona stima della popolazione potenzialmente esposta ad uno specifico inquinante, attraverso il consumo di acqua a fini potabili (Figura 1.4).

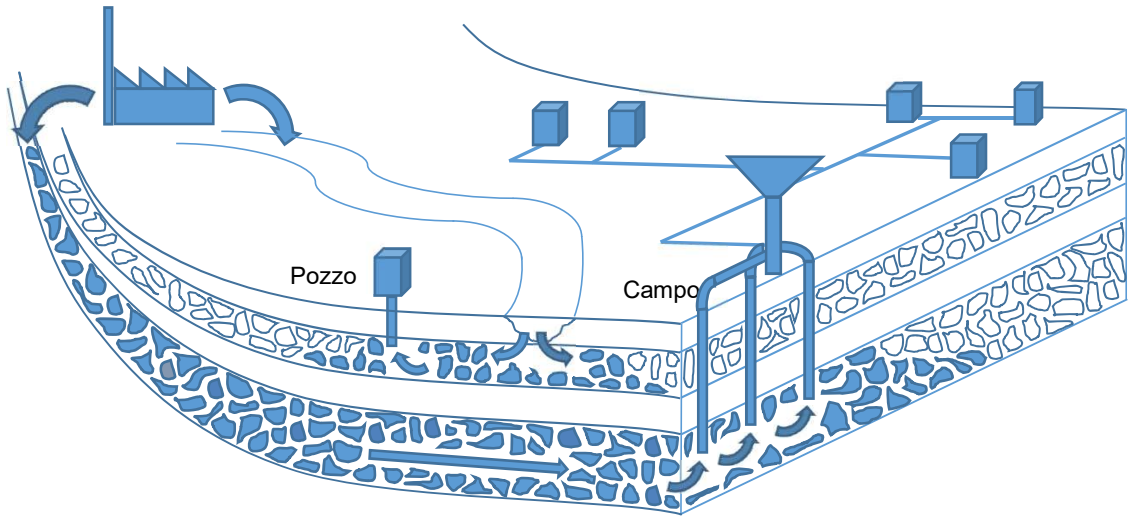

Figura 1.4. Vie di diffusione degli inquinanti attraverso la matrice acqua per la valutazione della popolazione esposta

1.5.1.5. Valutazione dell'esposizione

Ricostruire l'esposizione per via orale, attraverso la matrice acqua, è spesso complicato, in quanto il percorso attraverso il quale lo specifico inquinante raggiunge la popolazione esposta è di difficile modellizzazione a causa della concomitanza di diverse variabilità.

La valutazione dell'esposizione deve tener conto di molteplici aspetti al fine di ricostruire un'esposizione accurata a contaminanti specifici, attraverso il consumo di acqua:

- Identificazione dei contaminanti;
- Caratteristiche chimico fisiche, destino, trasporto e interazione chimico-fisica tra i diversi contaminanti;
- Caratterizzazione dei contaminanti prodotti;
- Valutazione della cinetica dei singoli inquinanti e loro degradazione;
- Identificazione e valutazione di eventuali interazioni tra diversi inquinanti;
- Raccolta dei dati di monitoraggio esistenti;
- Stima della contaminazione di fondo in base ai dati disponibili;
- Stima dell'entità, frequenza e durata dell'esposizione;
- Valutazione dei punti di prelievo sugli acquiferi interessati da parte della popolazione:
  - Reti acquedottistiche e relativi punti di prelievo;
  - Pozzi privati (se accessibili);

- Valutazione del consumo giornaliero[6];
- Valutazione dell'esposizione (i tempi di esposizione sono influenzati da molti fattori):
  - Data di realizzazione del punto di prelievo
  - Durata del consumo

La valutazione dell'esposizione per via orale può essere valutata tramite tale formula:

$$DOSE_{pot} = \frac{Conc \; x \; Rateo \; x \; ED}{(Peso_{corporeo})}$$

dove: $DOSE_{pot}$: espressa in unità di peso per kg_{pc} e il valore sarà riferito al periodo temporale omogeneo al valore di riferimento;
Conc: La concentrazione di contaminante è espressa in unità di peso per Litri di acqua (es. mg/L). Essa può essere riferita alla concentrazione media della sostanza chimica nell'acqua consumata;
Rateo: esprime la quantità consumata dell'acqua contaminata, espressa in litri, su unità di tempo (es. giorno, settimana);
ED: La durata dell'esposizione va calcolata su un periodo di tempo idoneo al confronto con i valori di riferimento (es. i *Tolerable Weekly Intake* - TWI su un periodo settimanale o gli *Accettable Daily Intake* - ADI) giornalieri, per esposizioni croniche; valori diversi dovranno essere presi in considerazione per esposizioni acute o a breve termine)
$Peso_{Corporeo}$: espresso in kg.

1.5.2 Matrice Suolo

La presenza nel suolo delle sostanze chimiche può essere di origine naturale o derivare da attività antropiche. In entrambi i casi, in funzione delle trasformazioni che possono subire (processi di idrolisi, biodegradazione, ossidazione) e soprattutto in funzione delle loro caratteristiche chimico-fisiche, le sostanze possono muoversi nei vari comparti aria, acqua, suolo, sedimenti ecc. determinando, per alcune classi, processi di bioaccumulo e biomagnificazione che possono coinvolgere la catena alimentare, la quale considera i passaggi dell'inquinante nel percorso suolo-vegetali-animali-uomo. Il trasferimento nelle matrici acqua e suolo potrebbe portare al bioaccumulo di alcune sostanze nel biota tanto che, pur avendo bassa rilevanza per l'esposizione inalatoria, acquisiscono importanza per la via di esposizione orale dovuta ad ingestione di alimenti o acque contaminate. Pertanto, sulla base delle specificità del territorio andrà valutata la presenza di zone destinate ad uso agricolo/allevamento/pesca per le quali è ipotizzabile una contaminazione. Inoltre, in un'area genericamente definita agricola, va individuata la diversa tipologia di coltivazione/uso (pascolo, foraggere, seminativo, orticola e fruttifera). È da tener presente che, in natura, alcune sostanze chimiche inorganiche quali il rame, il cromo, il molibdeno, il nichel, il selenio e lo zinco sono elementi *essenziali* per il normale funzionamento e riproduzione di microrganismi, piante e animali incluso l'uomo se presenti a basse concentrazioni; alcuni di essi, tuttavia, possono risultare tossici ad elevate concentrazioni. Per le sostanze chimiche inorganiche definite *non essenziali* quali ad esempio arsenico, piombo e mercurio, la tossicità si manifesta anche a basse concentrazioni.

Per le sostanze chimiche presenti nel suolo, è opportuno avere conoscenza dei Valori di Fondo (VF) definiti nelle *Linee guida per la determinazione dei valori di fondo per i suoli e per le acque sotterranee* (SNPA, 2017) come:

[6] Generalmente in base alle linee guida della WHO sulla qualità delle acque destinate al consumo umano, per il calcolo dei valori guida ci si riferisce ad un consumo di acqua pari a 2 litri per un adulto di 60 kg.

> "*Fondo naturale*
> distribuzione di una sostanza nelle matrici ambientali (suolo, sottosuolo materiale lapideo e acque sotterranee) derivante dai processi naturali (geochimici, biologici, idrogeologici naturali), con eventuale componente antropica non rilevabile o non apprezzabile;
>
> *Fondo antropico*
> distribuzione di una sostanza nelle matrici ambientali (suolo, sottosuolo, materiale lapideo e acque sotterranee) derivante dai processi naturali (geochimici, biologici, idrogeologici), e da sorgenti antropiche diffuse. Per un dato contesto storico ambientale detta distribuzione rappresenta lo stato più indisturbato possibile rispetto a sorgenti localizzate, potenziali o attuali, anche esterne, che impattano sul territorio in esame."

La conoscenza delle concentrazioni dei Valori di Fondo ha un ruolo importante anche rispetto alla valutazione dell'esposizione della popolazione in aree urbane ad uso verde (es. giardini, aree verdi pubbliche o private ecc.).

Per la qualità dei suoli ad uso agricolo il riferimento normativo è rappresentato dal DM n. 46 del 2019 relativo alle aree ad uso agricolo e agropastorale, mentre per i suoli ad uso residenziale/verde pubblico il riferimento è la Colonna A della Tabella 1 dell'Allegato 5 alla Parte IV, Titolo V del DL.vo 152/06 s.m.i. (MATTM, 2019).

Attualmente i settori che contribuiscono maggiormente alla contaminazione del suolo con ricaduta di particolato sospeso (PM) sono:

- *Attività industriali:* sostanze legate ad attività petrolifera (idrocarburi), sostanze chimiche di diversa natura, detergenti sintetici;
- *Attività civili*: acque di scarico dei centri abitati (mancanza di reti fognarie e/o di depuratori);
- *Attività agricole*: prodotti chimici (es. pesticidi, fertilizzanti);
- *Rifiuti.*

Tra le emissioni degli inquinanti atmosferici e la loro ricaduta al suolo, il particolato sospeso riveste un ruolo prioritario per l'impatto che può avere sulla salute e sull'ambiente. Il deposito al suolo avviene attraverso processi di rimozione degli inquinanti dal comparto atmosferico per via secca o umida; la velocità di deposizione dipende dal tipo di inquinante e dalle condizioni meteorologiche.

Negli ultimi anni valutazioni di questo tipo hanno assunto particolare significato negli studi sull'accettabilità e sulla locazione di sorgenti, caratterizzate da emissioni potenzialmente significative di inquinanti atmosferici tossici e persistenti.

In considerazione del fatto che la VIS rappresenta una valutazione sito specifica e la presenza di eventuali inquinanti nel suolo è strettamente correlata allo studio delle pressioni antropiche/attività industriali e relativi processi utilizzati che insistono sul territorio, proporre un elenco definito di contaminanti nel suolo non rappresenterebbe una procedura corretta e non sarebbe mai esaustivo. Tuttavia, si può anticipare a puro titolo di esempio che le categorie di inquinanti più diffuse e di maggior interesse igienico-sanitario sono i metalli pesanti, seguiti dagli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) e da altre sostanze organiche quali PCB e Diossine che, per le loro caratteristiche chimico-fisiche, possono essere veicolate e depositate al suolo tramite il $PM_{tot.}$

La stima dei flussi di deposizione delle sorgenti emettitrici, nonché la caratterizzazione del PM_{tot} permette di individuare il potenziale accumulo delle sostanze inquinanti nel suolo, e un'eventuale esposizione a valori di concentrazione che possono aumentare, nel tempo, fino a superare i livelli compatibili con la specifica destinazione d'uso (es. uso agricolo). Per stimare il possibile impatto al suolo e valutare la distribuzione degli inquinanti nell'area d'interesse sono disponibili e possono essere utilizzati modelli avanzati di ricaduta.

1.5.2.1. Area di studio

L'area di studio segue quella definita attraverso modelli di ricaduta e diffusione degli specifici inquinanti individuati attraverso il SIA, consentendo di individuare le aree a diversa destinazione d'uso del suolo, per definirne la potenziale esposizione (Figura 1.5).

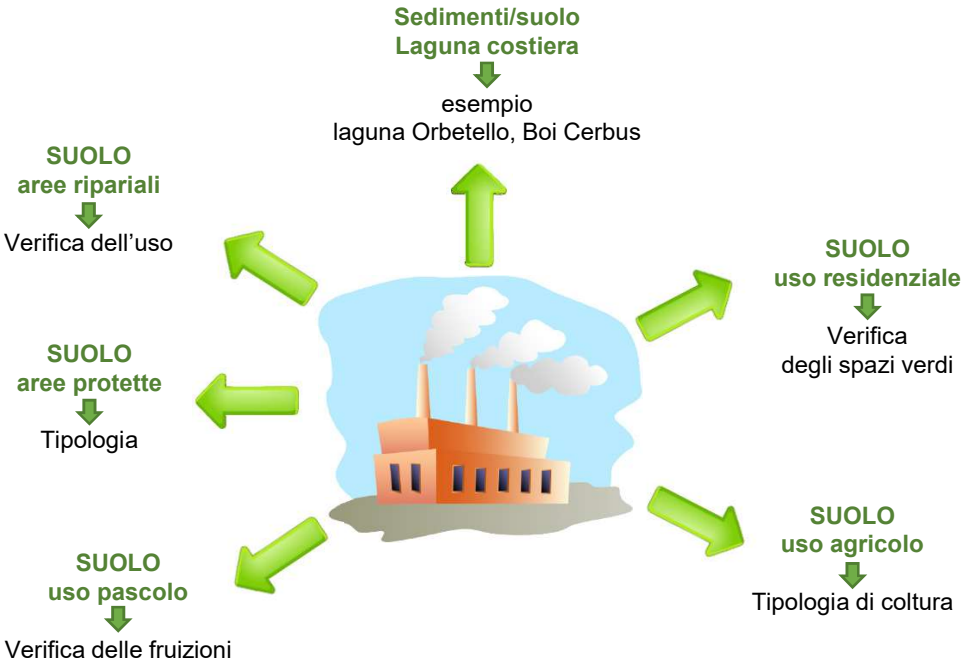

Figura 1.5. Aree potenzialmente impattate dalle ricadute del particolato aerodisperso

I risultati delle elaborazioni derivanti da simulazioni e/o monitoraggi possono essere utilizzati per definire le aree di interesse al livello del suolo, esprimendo le misure di interesse tramite i ratei di deposizione (mensili, stagionali, annue) al suolo degli inquinanti emessi dall'impianto.

1.5.2.2. Dati di monitoraggio

Il Proponente si fa carico di ricercare, in tutte le sedi disponibili, i dati di monitoraggio della matrice suolo (analisi chimico-fisiche, mappatura dell'uso del suolo, ecc) al fine di valutare la contaminazione di fondo.

Se dati utili di monitoraggio non sono disponibili o sono insufficienti, il Proponente deve effettuare idonee campagne di monitoraggio su indicazione e in accordo con gli Enti territoriali pubblici di controllo, soprattutto qualora si prefiguri un rischio concreto di contaminazione del suolo con particolare attenzione all'uso agro-alimentare. Vanno pertanto identificati dati di monitoraggio aggiuntivi, perché dati di monitoraggio insufficienti generano stime di contaminazione poco robuste e a volte del tutto errate.

Delle informazioni di base e/o dai monitoraggi integrativi, per realizzare una stima valida della esposizione attraverso questa via, vanno selezionati i contaminanti ritenuti rilevanti per il progetto in studio.

1.5.2.3. Popolazione esposta

Il livello minimo di disaggregazione, raccomandato per le valutazioni di impatto, è quello per *sezione di censimento*, essendo tale informazione liberamente scaricabile dal sito ISTAT, sia per quanto riguarda i dati geografici sulle sezioni di censimento sia per i dati di popolazione abbinati a ciascuna sezione. Le informazioni geografiche delle sezioni di censimento e i relativi dati di popolazione devono essere integrati con i dati geografici attraverso strumenti GIS, al fine da individuare la popolazione potenzialmente esposta alla contaminazione.

1.5.2.4. Valutazione dell'esposizione

Definito l'areale geografico oggetto di indagine, derivante dagli studi di ricaduta dei contaminanti emessi, va individuato l'uso del suolo al fine di definire gli specifici scenari di esposizione che saranno diversi a seconda che l'impatto coinvolga un'area urbana (area residenziale adibita a verde), agricola (attività agroindustriale, pascolo/zootecnica) o su arenili (spiagge).

Il grado di esposizione della popolazione all'inquinante dipende dalla sua presenza e concentrazione nei primi centimetri di suolo per le aree urbane; per le aree ad uso agricolo la profondità di accumulo viene espressa in funzione dell'uso del suolo (es.30-50 cm per terreni agricoli e/o orti privati, primi 10 cm per prati e pascoli (DM 13 settembre 1999) (MIPAF, 1999).

La valutazione dell'esposizione deve tener conto, quindi, di molteplici aspetti al fine di ricostruire un'esposizione accurata a contaminanti del suolo distinguendo tra suolo ad uso agricolo (agroalimentare, zootecnico) e residenziale (parchi pubblici, aree private quali condominiali o ricreative).

In entrambi le situazioni, al fine di definire gli scenari di esposizione, risulta necessario disporre di informazioni quali:

- *Identificazione dei contaminanti*
  È necessario individuare gli *inquinanti* che possono diventare disponibili per l'esposizione umana. Questi sono gli inquinanti emessi/prodotti dalla attività produttiva specifica che si sta valutando e che possono essere ritrovati nel particolato aerodisperso e poi depositato al suolo.
- *Caratteristiche chimico fisiche, destino, trasporto dei contaminanti selezionati*
  Queste caratteristiche determinano anche il destino ambientale e la loro ripartizione nelle diverse matrici con conseguente ricaduta sulle diverse vie di esposizione (inalazione, ingestione, contatto cutaneo). La conoscenza delle specifiche caratteristiche chimico-fisiche permette un'immediata intuizione della pericolosità ambientale/sanitaria, in particolar modo la combinazione di alcune caratteristiche quali:
  - la facilità di diffusione attraverso i corpi idrici;
  - la stabilità che determina una elevatissima persistenza e diffusione, la tendenza al bioaccumulo nell'organismo degli animali, inclusi i mammiferi, e la capacità a biomagnificare tipica di molte sostanze organiche persistenti (*Persistent Organic Pollutions*, POP).

1.5.2.4.1. Aree urbane

Nella valutazione della possibile contaminazione di un *suolo in ambiente urbano ad uso verde/residenziale* va tenuto conto del tipo di attività che sono o possono essere svolte nell'area in studio, poiché queste determinano le modalità di esposizione e soprattutto i tempi e la frequenza di esposizione.

Nella Tabella 1.3 sottostante sono raccolti alcuni esempi di uso delle aree verdi residenziali.

Tabella 1.3. Esempi di uso delle aree verdi residenziali

Aree verdi	Esempi
Pubbliche	Giardini comunali Parchi, pinete, boschi, aree a folta vegetazione Campi sportivi/da gioco
Private	Giardini/campi sportivi parrocchiali Giardini di associazioni sportive/ricreative Ampie aree verdi condominiali
Scolastiche	Asilo nido Scuola dell'infanzia Scuola primaria Scuola secondaria di I grado Scuola secondaria di II grado

Per queste aree vanno considerate le vie di esposizione per ingestione, contatto cutaneo e inalazione di polveri dovute al risollevamento.

Per una corretta valutazione degli scenari di esposizione vanno pertanto raccolte informazioni quali:

- Dati di monitoraggio esistenti;
- Valutazione dei punti di prelievo;
- Stima della contaminazione di fondo in base ai dati disponibili;
- Stima dell'entità, frequenza e durata dell'esposizione;
- Valutazione del consumo (stime di consumo giornaliero relativamente alla dieta).

Indicazioni sui fattori di esposizione possono essere reperite dal documento *Exposure Factors Handbook* (EPA, 2017).

1.5.2.4.2. Aree agricole

Per le aree agricole è necessario analizzare i seguenti aspetti:

- *Probabilità di traslocazione*
  Nella valutazione della possibile contaminazione di aree ad uso agricolo, l'attenzione deve basarsi sulla probabilità di traslocazione degli inquinanti dal suolo alla pianta, con il conseguente ingresso di sostanze contaminanti nella catena alimentare. La possibilità di passaggio dal suolo al vegetale dipende anche dalla bioaccessibilità o biodisponibilità dei contaminanti nel suolo che è determinata non dal loro contenuto totale, ma piuttosto dalle forme chimiche e mineralogiche in cui sono presenti, e dalle caratteristiche del suolo.
- *Caratteristiche del suolo*
  Determinano la bioaccessibilità dei contaminanti per i vegetali, ma non tutte le componenti del suolo hanno lo stesso peso nella comprensione dei fenomeni di traslocazione delle sostanze chimiche. I parametri fondamentali per la ritenzione dei composti organici e dei microinquinanti inorganici nel suolo sono principalmente: Granulometria, Sostanza organica, Attività microbica, pH, Attività dei microrganismi degradatori.

In generale la valutazione dell'esposizione tramite la catena alimentare deve considerare i passaggi dell'inquinante suolo-vegetale-animale-uomo. In un'area, genericamente definita agricola, va distinta la diversa tipologia di coltivazione/uso (pascolo, foraggere, seminativo, orticola e fruttifera) poiché per alcuni contaminanti con capacità di bioaccumulo e

biomagnificazione più la catena alimentare è lunga più probabilità ci sono che la concentrazione del contaminante passi a valori vicini al limite di rilevabilità nel suolo a valori significativi nell'ultimo anello della catena alimentare fino ad arrivare all'uomo. In aree agricole quindi, la valutazione del rischio sanitario deve prevedere la stima dell'esposizione della popolazione mediante la dieta, calcolando il consumo di prodotti alimentari provenienti dall'area oggetto di studio. Devono essere utilizzate idonee formule di calcolo che tengano in considerazione valori medi di consumo degli alimenti interessati (es. il data base dell'EFSA Food-Ex: https://www.efsa.europa.eu/en/data-report/food-consumption-data) e di conseguenza l'effettiva esposizione della popolazione, subordinata alla definizione degli specifici scenari di esposizione.

Per molti composti tossici persistenti, come già evidenziato sopra (es. diossine, IPA, PCB, metalli e metalloidi) la catena alimentare rappresenta un'importante fonte di rischio se non, in alcuni casi, la principale via di esposizione (Figura 1.6).

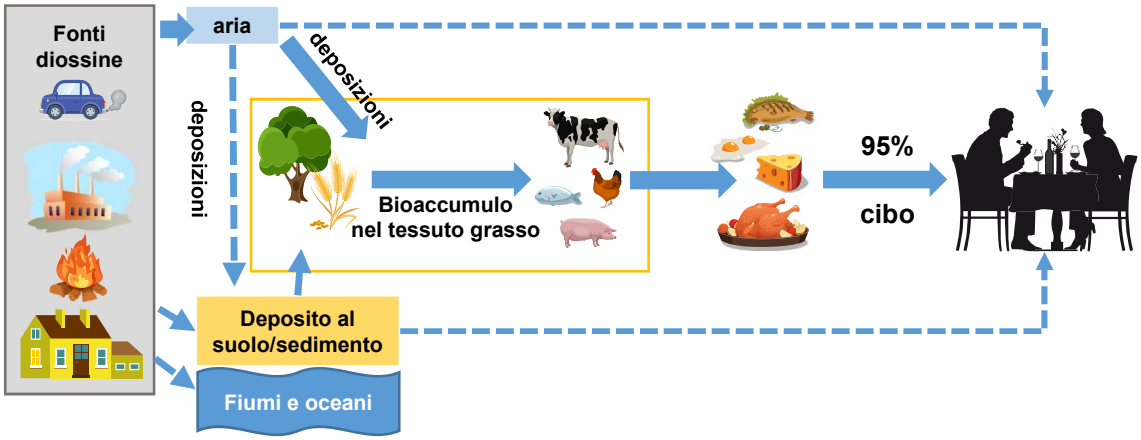

Figura 1.6. Biomagnificazione dei POP

La valutazione dell'esposizione per ingestione può essere valutata tramite la formula:

$$DOSE_{pot} = \frac{Conc \; x \; Rateo \; x \; ED}{Peso_{corporeo}}$$

dove: $DOSE_{pot}$, espressa in unità di peso per kg_{pc} e il valore sarà riferito al periodo temporale omogeneo al valore di riferimento;
Conc: la concentrazione di contaminante è espressa in unità di peso per kg di alimento (es. mg/kg). Essa può essere riferita alla concentrazione media della sostanza chimica in uno specifico alimento o alla media delle concentrazioni nel gruppo di alimenti che la contengono;
Rateo: esprime la quantità consumata dell'alimento contaminato, espressa sempre in unità di peso (es. grammi) su unità di tempo (es. giorno, settimana);
ED: la durata dell'esposizione va calcolata su un periodo di tempo idoneo al confronto con i valori di riferimento (es. i TWI su un periodo settimanale o gli ADI giornalieri, per esposizioni croniche, valori diversi dovranno essere presi in considerazione per esposizioni acute o a breve termine).
$Peso_{Corporeo}$: espresso in kg.

È quindi necessario stimare i livelli di concentrazione degli inquinanti di interesse nei diversi alimenti consumati, insieme alle modalità di consumo di questi alimenti da parte della popolazione in termini, ad esempio, di frequenza di consumo e quantità consumate.

L'associazione dell'esposizione a questi inquinanti, con specifici effetti sanitari, deve essere accuratamente valutata facendo riferimento alle conoscenze scientifiche delle Agenzie/Enti Internazionali – IARC (*International Agency for Research on Cancer*), WHO (*World Heath Organization*), ATSDR (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, DG Environment, DG Sante, EFSA (*European Food Safety Authority*), ECHA (*European Chemicals Agency*), US EPA (*Environmental Protection Agency of the United States*), INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques), RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, istituto nazionale per la salute pubblica e l'ambiente dei Paesi Bassi).

Qualora per i contaminanti d'interesse non siano reperibili specifici valori tossicologici di riferimento, sopra riportati, si può procedere al calcolo della dose utilizzando l'approccio statunitense dell'EPA in relazione ai valori tossicologici RfD e/o SF. In tal caso la stima dell'esposizione delle dosi medie giornaliere assunte è riferita all'*Average Daily Dose* (ADD), per sostanze caratterizzate da effetti tossici e cancerogeni con soglia, mentre si fa riferimento al *Lifetime Average Daily Dose* (LADD) per sostanze cancerogene con meccanismo genotossico.

Pertanto, la formula di calcolo da utilizzare per le sostanze caratterizzate da effetti tossici e cancerogeni con soglia è la seguente:

$$ADD = \frac{BW \, x \, AT_{ADD}}{C \, x \, IR \, x \, EF \, x \, ED}$$

dove: *ADD,* espressa in mg/kg giorno
C: valore rappresentativo di concentrazione di un contaminante, ottenuto con elaborazione statistica (media, mediana, *upper confidence limit*, ecc.), in ciascuna "voce alimentare", è espresso in mg/g;
IR: *Intake Rate* (tasso di consumo alimentare pro capite) di ciascuna "voce alimentare" considerata opportunamente in forma aggregata o disaggregata; è espresso in g/giorno;
EF: *Exposure Frequency*, espressa in giorni/anno;
ED: *Exposure Duration*, espressa in anni;
BW: *Body Weight* (peso corporeo), espresso in kg, nelle valutazioni internazionali viene ad esso attribuito, generalmente, un valore pari a 60;
AT: *Averaging Time*, espresso in giorni è pari alla durata effettiva dell'esposizione; essendo espresso in giorni, si ha AT_{ADD} = ED x 365.

Per contro, quando ci si trova a stimare le dosi medie giornaliere per sostanze cancerogene caratterizzate da effetti con meccanismo genotossico (senza soglia), la formula di calcolo da utilizzare è:

$$LADD = \frac{C \, x \, IR \, x \, EF \, x \, ED}{BW \, x \, AT_{LADD}}$$

dove: *LADD,* espressa in mg/kg giorno
C: valore rappresentativo di concentrazione di un contaminante, ottenuto con elaborazione statistica (media, mediana, *upper confidence limit*, ecc.), in ciascuna "voce alimentare", è espresso in mg/g;
IR: *Intake Rate* (tasso di consumo alimentare pro capite) di ciascuna "voce alimentare" considerata opportunamente in forma aggregata o disaggregata; è espresso in g/giorno;

EF: *Exposure Frequency*, espressa in giorni/anno;
ED: *Exposure Duration*, espressa in anni;
BW: *Body Weight* (peso corporeo), espresso in kg, nelle valutazioni internazionali viene ad esso attribuito, generalmente, un valore pari a 60;
AT: *Averaging Time*, espresso in giorni AT_{LADD} è pari all'arco dell'intera vita (AT = 70 x 365).

Ulteriori approfondimenti si possono trovare sia all'Allegato 3 del DM 46/2019 relativo alle aree agricole e sia nel documento US EPA.

1.6. Valutazione dell'esposizione per via cutanea

Obiettivo di questo paragrafo è fornire una metodologia chiara e inequivocabile al Proponente per la definizione della popolazione oggetto di indagine e la sua caratterizzazione e quantificazione dell'esposizione per via cutanea attraverso il contatto con il suolo e/o arenili.

La valutazione dell'esposizione per via cutanea va condotta utilizzando le stesse procedure di raccolta dati e di monitoraggi descritti nel paragrafo precedente, distinguendo le diverse tipologie di contatto che si possono avere nel caso in cui si tratti di suolo o di arenili (US EPA, 2004).

1.6.1. Area di studio

Per la definizione dell'Area di studio anche in questo caso dovrebbe essere definita attraverso modelli di ricaduta e diffusione degli specifici inquinanti, al fine di individuare e distinguere le aree ad uso verde/residenziale e quelle ricreativo/spiagge per definirne la potenziale esposizione.

1.6.2. Dati di monitoraggio

Il Proponente si fa carico di ricercare in tutte le sedi disponibili i dati di monitoraggio della matrice suolo/arenile (analisi chimico-fisiche, mappatura del suolo e/o delle spiagge, ecc) anche al fine di valutare la contaminazione di fondo. Qualora si prefiguri un rischio concreto di contaminazione delle aree destinate ad uso ricreativo (es. giardini, parchi, arenili) e i dati utili di monitoraggio non sono disponibili o risultano insufficienti, il Proponente deve effettuare idonee campagne di monitoraggio su indicazione e in accordo con gli organi pubblici di controllo e identificare i dati di monitoraggio aggiuntivi.

1.6.3. Popolazione esposta

Per la valutazione dell'esposizione per via cutanea sarà opportuno procedere con una stima riferita a specifici gruppi di popolazione, senza riferimento alle sezioni di censimento. A seconda del caso ritenuto di interesse potranno essere selezionati segmenti di popolazione che frequentano i luoghi per i quali è rilevante questa stima di esposizione, quale ad esempio il gruppo dei bambini che frequentano giardini pubblici, o sia bambini che popolazione generale che frequenta un arenile.

1.6.4. Valutazione dell'esposizione

La valutazione dell'esposizione deve tener conto di molteplici aspetti al fine di ricostruire un'esposizione cutanea accurata distinguendo tra suolo ad uso residenziale (parchi pubblici, aree private quali condominiali o ricreative) e ad uso ricreativo (spiagge) al fine di definire i diversi gli scenari di esposizione; pertanto, vanno raccolte le informazioni relative a:

- Identificazione dei contaminanti;
- Caratteristiche chimico fisiche, destino, trasporto dei contaminanti selezionati;
- Raccolta dei dati di monitoraggio esistenti;
- Stima della contaminazione di fondo in base ai dati disponibili;
- Stima dell'entità, frequenza e durata dell'esposizione;
- Valutazione dei punti di prelievo;
- Valutazione dell'esposizione che è influenzata da molti fattori quali:
  - tempi di esposizione (possono essere diversi per aree residenziali rispetto agli arenili)
  - superficie di pelle esposta diversa per adulti e bambini e soprattutto maggiore per i fruitori degli arenili.

Nell'esposizione cutanea la formula generica per il calcolo della dose potenziale assume una forma più specifica e precisamente:

$$E_{derm} = (MR_{medium}) (Conc) (SA)$$

dove: E_{derm}: esposizione cutanea (massa per tempo);
MR_{medium}: massa di mezzo (suolo, sabbia) a contatto con la pelle nell'unità di tempo (massa di sostanza per unità di superficie di pelle per unità di tempo);
Conc: concentrazione media di sostanza nel mezzo;
SA: superficie di pelle disponibile per il contatto (area).

La stima del MR_{medium} rappresenta l'aspetto più complesso per l'esposizione cutanea in quanto è la conseguenza dello scenario di esposizione individuato per il caso in studio.

Questo tipo di attività ricreativa, nel caso di esposizione di bambini, può comportare una ingestione di terra o sabbia contaminata e parzialmente anche di acqua se di parla di arenili vicini ad una riva, dovuta all'abitudine di portare mani e oggetti alla bocca. In questo caso un rateo dovrà essere considerato per una esposizione orale e non solo cutanea.

1.7. Esposizione aggregata e cumulata

In alcune peculiari situazioni si può determinare la necessità di affrontare con un approccio più ampio la valutazione dell'esposizione per la popolazione che è stata individuata come potenzialmente impattata. Nello specifico si possono presentare scenari dove la combinazione delle caratteristiche degli impatti determinati dal progetto e il contesto territoriale suggeriscono di procedere con quella che viene chiamata *valutazione dell'esposizione aggregata*.

Dal punto di vista della definizione, un'esposizione si definisce aggregata quando il generico individuo può assumere la singola sostanza chimica attraverso più percorsi (cibo, acqua potabile, aria, suolo), che attivano quindi più vie (orale, cutanea, inalatoria).

Negli studi di VIA di progetti che possono essere sottoposti a VIS, queste situazioni sono potenzialmente presenti quando l'impianto emette sostanze che in relazione allo specifico contesto territoriale, possono attivare le vie di esposizione anche diverse da quella inalatoria (Figura 1.7).

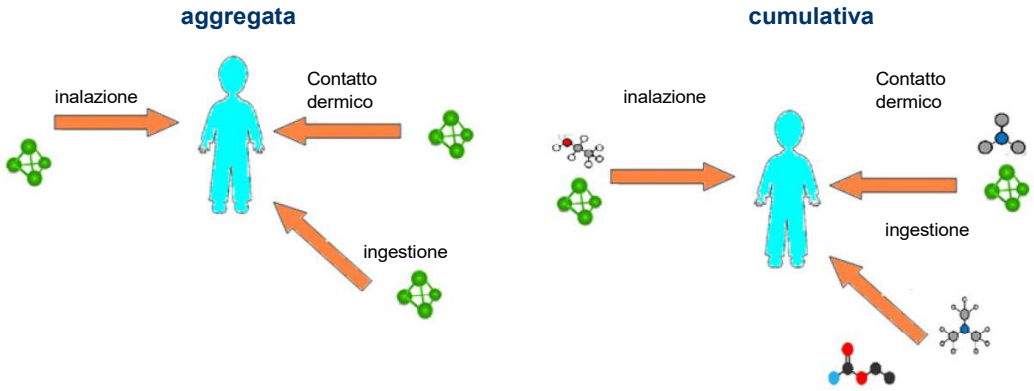

Figura 1.7. Esposizione aggregata ed esposizione cumulata

Per esempio, se le emissioni in aria di un impianto (es. raffineria/petrolchimico) coinvolgono composti chimici (es. metalli pesanti, IPA, PCDD/F) che hanno la potenzialità di contaminare i comparti suolo e acque, alcuni anche con proprietà di bioaccumulo, dovrà essere effettuata una valutazione della potenziale attivazione di un'esposizione aggregata dovrà essere effettuata. Tali studi dovranno guardare attentamente al contesto territoriale sul quale l'impianto verosimilmente determinerà l'impatto, verificando se le aree interessate hanno destinazioni d'uso tali da interessare gli altri comparti ambientali, quali suoli destinati ad allevamento e/o agricoltura. Tale scenario fa prefigurare che quella sostanza, se emessa, oltre ad essere inalata quando emessa, potrà giungere al suolo e contaminare le colture che, o destinate direttamente all'uomo o destinate all'alimentazione animale, giungono alla popolazione che sarà esposta per via orale. Il discorso è analogo anche per l'assunzione di acqua che si inquina tramite un procedimento simile.

È inoltre possibile, anche se questi sono scenari più rari ma comunque noti in alcuni casi, essere esposti alle stesse sostanze anche per via cutanea quando le ricadute degli inquinanti interessano parchi/giardini e comunque aree destinate alle attività ricreative, anche in contesti urbani. In queste aree, oltre alla popolazione generale, anche una popolazione più sensibile quali i bambini potrebbero venire esposti durante attività di gioco per diretto contatto con il suolo. In altre circostanze è stato possibile evidenziare esposizioni cutanee per impianti produttivi posti in vicinanza di spiagge.

In sintesi, l'analisi del contesto territoriale unito a quello che deriva dalle attività industriali connesse al progetto, potranno dare le indicazioni se sia necessario condurre una valutazione di esposizione aggregata.

Per una corretta valutazione dell'esposizione aggregata ad una sostanza, pertanto, bisogna procedere con le seguenti fasi:

- identificare le esposizioni per ciascun percorso, che riguarda la matrice acqua, cibo, suolo e aria;
- determinare lo scenario di esposizione tramite l'identificazione della entità (es. consumo medio di acqua e cibo), frequenza e durata per ciascuno delle vie pertinenti;
- valutare quali vie devono essere aggregate, anche in funzione della durata dell'esposizione (acuta, a breve termine e/o cronica);
- determinare il metodo di trattamento dei dati. Tradizionalmente si utilizza un approccio deterministico per generare un'unica stima dell'esposizione (es. per l'individuo medio adulto) e del rischio basata sulla selezione di un valore (stima puntuale) per le variabili di input nell'algoritmo di esposizione. Questi valori potranno essere il valor medio della

variabile o quello mediano. In associazione alla valutazione, sarà generalmente idoneo effettuare una stima deterministica dell'esposizione aggregata selezionando uno scenario per individui più vulnerabili e/o più esposti. Più complesso utilizzare tecniche probabilistiche che descriveranno la distribuzione dell'esposizione all'interno della popolazione interessata. Non si evidenziano, comunque, situazioni dove un'analisi probabilistica di esposizione e di rischio possa essere di supporto in questi studi di VIS;

- determinare la metrica di esposizione appropriata da utilizzare nell'analisi;
- evidenziare se vi sono scenari di esposizione (ovvero gruppi di individui) di maggior interesse in quanto esposti a dosi più elevate.

Nel caso in cui l'analisi ai punti 1-6 evidenzi che l'esposizione aggregata ad un contaminante presente in diverse matrici (es. suolo e acqua) che insistono sulla stessa via di esposizione (es. un metallo pesante a cui la popolazione interessata viene in contatto attraverso la contaminazione di acqua potabile e alimenti, quindi per esposizione per via orale), i livelli di esposizione con la giusta metrica e relativi allo stesso periodo espositivo possono essere sommati, presupponendo additività di dose.

Nel momento in cui lo stesso metallo fosse anche emesso in aria, dovrebbe essere verificato il diametro delle particelle o MMAD (*Mass Median Aerodynamic Diameter*), perché la loro grandezza determina se la via interessata è quella orale o inalatoria. Infatti, le particelle con MMAD $\geq$10 µm si depositano nelle cavità nasali e sono poi espulse tramite i movimenti ciliari (nessuna esposizione sistemica) o inghiottite (esposizione orale): in quest'ultimo caso l'esposizione è additiva alle altre fonti (acqua e cibo), con la corretta metrica. Inoltre, le particelle soprattutto di diametro >10 µm si depositano al suolo e attraverso la traslocazione alla catena alimentare interessano nuovamente la via orale. Quanto detto in riferimento alle particelle è vero anche per l'aerosol.

Se invece l'esposizione oltre che orale è anche inalatoria e/o cutanea i valori di esposizione ottenuti per le diverse vie espositive non possono essere semplicemente sommati, ma è necessario conoscere il comportamento tossicocinetico per poterlo fare.

Solo nel caso in cui il comportamento cinetico sia noto (es. siano note le % di assorbimento per le varie vie che permettano di stimare una dose interna) e non comporti differenze nella induzione di effetti si può procedere alla somma (US EPA, 2001). Purtroppo, le informazioni in questo senso sono spesso molto limitate. In questo ultimo caso, si consiglia di considerare e caratterizzare separatamente le vie di esposizione, e nel caso siano disponibili, considerare i valori di riferimento *health based* corrispondenti (per i dettagli si rimanda al Capitolo 2).

Quanto descritto si applica ovviamente anche alla via di esposizione cutanea rispetto alle altre, anche se nel caso specifico è necessario distinguere tra la possibilità di indurre effetti locali (al sito di contatto) rispetto ad effetti sistemici (dovuti alla presenza della sostanza in circolo).

Ad esempio, se l'esposizione cutanea ad una sostanza determina arrossamento, sensazione di bruciore, dolore e gravi lesioni cutanee (in dipendenza della concentrazione e della tipologia di esposizione in termini di durata e frequenza) e l'esposizione per inalazione provoca danni all'apparato respiratorio, entrambi gli effetti vanno considerati, ma non sono necessari calcoli di aggregazione dell'esposizione.

Per dovere di completezza dell'informazione, si riporta che sono disponibili alcuni *tools* di modellistica per la stima della esposizione aggregata per scenari specifici (es. CALENDEX, CARES, SHEDS, TRIM), così come modelli PBK (*Physiologically-Based Kinetic*) per stimare dosi interne da più vie attraverso simulazioni: tuttavia non sono ancora sviluppati al punto tale da poter essere utilizzati in modo routinario. Il consiglio al momento è procedere per gradi, facendo assunzioni semplici e seguendo l'approccio sopra descritto, sommando solo quando possibile in base alle informazioni raccolte, e, quando non lo sia, valutando separatamente gli effetti ciascuno con il proprio specifico valore di riferimento *health-based*.

Relativamente alla esposizione combinata, in termini di esposizione a sostanze diverse per la stessa via (o per vie diverse), la valutazione dell'esposizione deve mirare a valutare la plausibilità della co-esposizione, anche attraverso interazioni chimiche tra sostanze diverse in matrice, attraverso la definizione dei vari scenari, seguendo le varie fasi descritte nei punti elenco 1-6 per l'esposizione aggregata (EFSA, 2018). Una volta definita l'esposizione, le varie metodologie su come procedere per valutare i rischi associati sono descritte nel Capitolo 2.

Le linee di indirizzo che accomunano gli approcci di studio delle diverse matrici sono:

- fornire dati di monitoraggio in caso di insufficienza dei dati disponibili è a carico del Proponente;
- analizzare da parte del controllore in maniera critica i dati forniti dal Proponente;
- creare conoscenze comuni e condivise tra i diversi organi di controllo al fine da rendere univoci i pareri.

Bibliografia

ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente). *Linee Guida per la redazione e l'uso delle carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento*. Roma: ANPA; 2001. (Manuali e Linee Guida ANPA 4/2001).

Bastone A, Soggiu ME, Vollono C, Masciocchi M, Rago G, Sellitri C. *Studio di valutazione dell'esposizione inalatoria a contaminazione atmosferica nella città di Ferrara. Prima fase*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2003. (Rapporti ISTISAN 03/19).

Bastone A, Soggiu ME, Vollono C, Viviano G, Masciocchi M, Rago G, Sellitri C, Spagnolo S, Spartera M. *Stili di vita e comportamenti delle popolazioni di Taranto, Massafra, Crispiano e Statte ai fini della valutazione dell'esposizione inalatoria ad inquinamento atmosferico*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2006. (Rapporti ISTISAN 06/36).

Comunità Europea. Direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque. *Gazzetta Ufficiale* n. 327 del 22.12.2000

Dogliotti E, Achene L, Beccaloni E, Carere M, Comba P, Crebelli R, Lacchetti I, Pasetto R, Soggiu ME, Testai E. *Linee guida per la valutazione di impatto sanitario (DL.vo 104/2017)*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2019. (Rapporti ISTISAN 19/9).

EFSA Scientific Committee, Hardy A, Benford D, Halldorsson T, Jeger MJ, Knutsen HK, More S, Naegeli H, Noteborn H, Ockleford C, Ricci A, Rychen G, Schlatter JR, Silano V, Solecki R, Turck D, Younes M, Benfenati E, Castle L, Hougaard Bennekou S, Laskowski R, Leblanc JC, Kortenkamp A, Ragas A, Posthuma L, Svendsen C, Testai E, Tarazona J, Dujardin B, Kass GEN, Manini P, Dorne JL, Hogstrand C. Draft guidance on harmonised methodologies for human health, animal health and ecological risk assessment of combined exposure to multiple chemicals. Document on public consultation. Parma: EFSA; 2018. Disponibile all'indirizzo: https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/consultation/consultation/180626-1-ax1.pdf; ultima consultazione 1/7/2019.

Europa. Direttiva 2006/118/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 12 dicembre 2006 sulla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* L372, 27/12/2006.

Europa. Parlamento Europeo e del Consiglio. Direttiva UE 2020/2184. Qualità delle Acque destinate al consumo umano. *Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea* n. 435, 23/12/2020.

ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la ricerca Ambientale). *Linee guida per la valutazione integrata di impatto ambientale e sanitario (VIIAS) nelle procedure di autorizzazione ambientale (VAS, VIA e AIA)*. Roma: Gruppo di lavoro Inter-Agenziale Ambiente e Salute; 2016.

ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la ricerca Ambientale). *Sviluppo e valutazione di modelli di flusso in acquiferi poros*i. Roma: ISPRA; 2021. (Manuali e Linee Guida ISPRA 193/2021)

Italia. Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n.155. Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa. *Gazzetta Ufficiale* n. 216 Suppl. Ord. n. 217 del 15/09/2010.

Italia. Decreto legislativo 152/06 parte terza, tit. III, capo III, allegato 5 Tabella 3 «Limiti per acque reflue industriali che recapitano in corpo idrico superficiale e fognature». *Gazzetta Ufficiale - Serie Generale* n. 88 del 14 aprile 2006.

Italia. Decreto legislativo 16 marzo 2009 n.30. Recepimento della Direttiva Europea 2006/118 delle Acque sotterranee -cd. Groundwater Daughter Directive (GDD). *Gazzetta Ufficiale - Serie Generale* n.79, 4 aprile 2009.

Italia. Decreto legislativo 6 luglio 2016. Recepimento della direttiva 2014/80/UE della Commissione del 20 giugno 2014 che modifica l'allegato II della direttiva 2006/118/CE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento. *Gazzetta Ufficiale - Serie Generale* n.165, 16 luglio 2016.

MATTM (Ministrro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare). Decreto del 1° marzo 2019 n. 46. Regolamento relativo agli interventi di bonifica, di ripristino ambientale e di messa in sicurezza d'emergenza, operativa e permanente, delle aree destinate alla produzione agricola e all'allevamento, ai sensi dell'articolo 241 del Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Parte IV, Titolo V del DL.vo 152/06 s.m.i. *Gazzetta Ufficiale Serie Generale* n.132 del 7 giugno 2019.

Ministero della Salute, Centro Nazionale per la prevenzione e il controllo delle malattie. V*alutazione di impatto sulla salute. Linea guida per proponenti e valutatori.* Roma: Ministero della Salute; 2016.

MIPAF (Ministero delle Politiche Agricole e Forestali). Decreto del 13 settembre 1999. Approvazione dei "Metodi ufficiali di analisi chimica dei suoli" emanato dal. *Gazzetta Ufficiale - Serie Generale* n. 248, 21 novembre 1999.

Musmeci L, Soggiu ME. *Linee guida per la Valutazione di Impatto Sanitario (VIS) (Legge 221/2015 art. 9)*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2017. (Rapporti ISTISAN 17/4).

Paustenbach DJ. The practice of exposure assessment: A state-of-art review. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 2000; part B,3:179-291.

Pirastu Roberta, Carla Ancona, Ivano Iavarone, Francesco Mitis, Amerigo Zona, Pietro Comba. *SENTIERI Studio Epidemiologico Nazionale dei Territori e degli Insediamenti Esposti a Rischio da Inquinamento: valutazione della evidenza epidemiologica*. Roma: Ministero della Salute; 2010. Disponibile all'indirizzo: https://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_2150_allegato.pdf; ultima consultazione dicembre 2022

SNPA (Sistema Nazionale per la Protezione Ambientale). *Linee guida per la determinazione dei valori di fondo per i suoli e per le acque sotterranee*. Roma: SNPA; 2017. Disponibile all'indirizzo: https://www.snpambiente.it/wp-content/uploads/2018/12/Linee_guida_snpa_8_2018.pdf; ultima consultazione dicembre 2022.

SNPA (Sistema Nazionale per la Protezione Ambientale). *Linee guida per la valutazione integrata di impatto ambientale e sanitario (VIIAS) nelle procedure di autorizzazione ambientale (VAS, VIA, AIA)*. Roma: SNPA; 2016. (Manuali e Linee Guida 133/2016).

SNPA (Sistema Nazionale per la Protezione Ambientale). *Valutazione d'impatto ambientale. Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale*. Roma: SNPA; 2020. Disponibile all'indirizzo: https://www.snpambiente.it/wp-content/uploads/2020/05/Linee_Guida_SNPA_LLGGVIA_28_2020.pdf; ultima consultazione dicembre 2022.

Soggiu ME, Bastone A, Vollono C, Masciocchi M, Rago G, Sellitri C, Galati F. *Studio sui comportamenti e abitudini alimentari dei cittadini ferraresi (II fase). Valutazione dell'esposizione a contaminanti ambientali presenti negli alimenti*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2008. (Rapporti ISTISAN 08/2).

Soggiu ME, Bastone A, Vollono C, Masciocchi M, Rago G, Sellitri C, Galati F. *Studio sui comportamenti e abitudini alimentari dei cittadini ferraresi.* Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2007. (Rapporti ISTISAN 07/3).

Soggiu ME, Bastone A, Vollono C, Masciocchi M, Rago G, Sellitri C. *Studio di valutazione dell'esposizione inalatoria a contaminazione atmosferica nella città di Ferrara. Seconda fase.* Roma Istituto Superiore di Sanità; 2005. (Rapporti ISTISAN 05/19).

Soggiu ME, Bastone A, Vollono C, Masciocchi M, Rago G. Italian survey on human behaviour for inhalation assessment. *Ann Ist Super Sanità* 2006;42(1):76-85.

Soggiu ME, Vollono C, Bastone A. V*alutazione dell'esposizione umana a contaminazione ambientale: scenari di esposizione*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2010. (Rapporti ISTISAN 10/19).

US EPA (Environmental Protection Agency). *General principles for performing aggregate exposure and risk assessments*. Washington, DC: Office of Pesticide Programs - US EPA; 2001.

US EPA (Environmental Protection Agency - Office of Superfund Remediation and Technology Innovation). *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment)*. Washington, DC: US EPA; 2004. Disponibile all'indirizzo: https://rais.ornl.gov/documents/RAGS_E_EPA540R99005.pdf; ultima consultazione dicembre 2022.

US EPA (Environmental Protection Agency). Aging and toxic response: issues relevant to risk assessment. Washington, DC: US EPA; November 2005.

US EPA (Environmental Protection Agency). *A framework for assessing health risks of environmental exposures to children*. Washington, DC: US EPA; 2006.

US EPA (Environmental Protection Agency). *Risk Assessment guidance for superfund volume i: human health evaluation manual (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment).* Washington, DC: US EPA; 2009. Disponibile all'indirizzo: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/partf_200901_final.pdf

US EPA (Environmental Protection Agency). *Exposure factors handbook. 2011 Edition (Final)*. Washington, DC: US EPA; 2011. (EPA/600/R-09/052F).

US EPA (Environmental Protection Agency). *Exposure factors handbook.* Washington, DC: US EPA; 2017. Disponibile all'indirizzo: https://www.epa.gov/expobox/about-exposure-factors-handbook; ultima consultazione dicembre 2022.

US EPA (Environmental Protection Agency). *Guidelines for esposure assessment.* Washington, DC: US EPA; 2019. Disponibile all'indirizzo: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-01/documents/guidelines_for_human_exposure_assessment_final2019.pdf; ultima consultazione dicembre 2022.

WHO (World Health Organization). *Chemical safety of drinking-water: Assessing priorities for risk management*. Geneva: WHO; 2007.

WHO (World Health Organization) - International Programme on Chemical Safety. *WHO human health risk assessment toolkit: chemical hazards*. Geneva: WHO; 2010. (IPCS Harmonization Project Document No. 8) Disponibile all'indirizzo: https://apps.who.int/iris/handle/10665/44458; ultima consultazione dicembre

WHO (World Health Organization). *WHO global air quality guidelines: particulate matter ($PM_{2,5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Geneva: WHO; 2021. Disponibile all'indirizzo: https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329; ultima consultazione dicembre

ALLEGATO al Capitolo 1

Valori di riferimento per scenari di esposizione

Tabella All.1. Distribuzione del rateo inalatorio per genere e per gruppi di età

Gruppo di età (anni)	Rateo (m^3/giorno)	DS	Min-max	Rateo (m^3/giorno)	DS	Min-max
	femmine			maschi		
<1	4,9	1,3	2,2-8,0	4,3	0,8	1,8-6,0
1-5	7,0	1,2	2,0-10,7	7,9	1,5	3,2-18,2
6-10	8,3	1,7	2,6-19,6	8,9	1,8	2,5-15,3
11-18	11,7	2,8	5,4-27,3	15,2	4,0	6,4-34,4
19-40	16,0	3,4	5,8-31,9	17,8	4,3	3,2-41,7
41-65	15,7	3,1	1,7-35,3	16,9	3,7	3,1-35,9
>65	13,6	2,2	3,3-26,0	14,8	2,7	3,7-31,1

Tabella All.2. Distribuzione del peso corporeo per femmine e gruppi di età

Gruppo di età (anni)	Peso medio (kg)	DS	25°	50°	75°	95°	Min	Max
<1*	7,5	2,0	6	8	9	10	4	12
1-5	17,0	5,6	13	15	20	28	8	38
6-10	30,5	8,9	24	29	35	50	20	65
11-18	51,5	11,6	45	50	58	70	25	100
19-40	60,2	9,1	54	60	65	79	38	96
41-65	64,8	11,0	57	63	70	89	44	100
>65	66,3	11,8	60	65	71	84	36	120

Tabella All.3. Distribuzione del peso corporeo per maschi e gruppi di età

Gruppo di età (anni)	Peso medio (kg)	DS	25°	50°	75°	95°	Min	Max
<1*	7,5	2,0	6	8	9	10	4	12
1-5	17,1	4,9	14	16	20	27	7	31
6-10	31,9	7,9	25	30	38	47	20	56
11-18	58,8	14,9	50	60	67	81	27	115
19-40	76,7	12,0	70	75	84	98	50	137
41-65	78,8	11,5	70	79	85	100	55	115
>65	75,2	10,0	69	75	80	91	50	120

Per il consumo dei vari tipi di alimenti in Europa e in Italia si consiglia di riferirsi alla banca dati EFSA che è partita dalla standardizzazione dei vari alimenti in classi, per permettere una maggiore armonizzazione e confrontabilità tra i dati dei vari Stati Membri per poi riportare i consumi di alimenti sulla base di dati reali raccolti attraverso vari progetti.
L'ampliamento/aggiornamento del 2020 permette di fornire nuove informazioni per tutte le fasce di età: neonati, bambini piccoli, bambini, adolescenti, adulti, anziani e molto anziani (dai 3 mesi ai 74 anni) nonché gruppi speciali. Per la prima volta le statistiche sono presentate per sesso.
La banca dati è reperibile al seguente iperlink: Food consumption data | EFSA (europa.eu) o https://www.efsa.europa.eu/en/data-report/food-consumption-data#the-efsa-comprehensive-european-food-consumption-database)

Tabella AII.4. Consumo medio di gruppi di alimenti in grammi/giorno (2008-2012) (fonte: Speciale CIBO E&P 2015;39 (5-6)

Gruppi di alimenti	Maschi	Femmine
Cereali (g/giorno)	187	133
Verdure (g/giorno)	172	185
Frutta (g/giorno)	269	291
Patate (g/giorno)	31	27
Legumi (g/giorno)	22	22
Olio extravergine d'oliva (g/giorno)	29	30
Grassi (g/giorno)	4	3
Pesce (g/giorno)	42	40
Carne (g/giorno)	107	87
Uova (g/giorno)	17	17
Formaggi (g/giorno)	48	42
Latte (mL)	133	160
Dolci (g/giorno)	83	84
Vino (mL)	165	56

Consumo di alcuni gruppi di alimenti, espressi in grammi al giorno (eccetto latte e vino, espressi il mL), dichiarati nell'indagine alimentare condotta su 64 uomini e 63 donne negli anni Sessanta a Nicotera e consumo di alcuni gruppidi alimenti dichiarati nell'indagine alimentare dell'OEC/HES condotta su 1.968 uomini e 2.062 donne nel 2008-2012, età 40-59 anni.

Tabella AII.5. *Intake* medio giornaliero (g/giorno) per classi di età di gruppi di alimenti (indagine condotta nella provincia di Ferrara su 1411 individui)

Gruppo età (anni)	BV	VR	DC	FR	LG	LT	MN	PA	PAR	RISO	SC	SL	SP	UO
1-5	592	77	62	190	4	238	41	50	5	10	63	11	26	5
6-10	652	90	86	212	4	193	21	54	11	11	64	17	28	7
11-18	884	90	73	185	4	159	19	59	20	10	68	23	22	5
19-40	978	121	61	172	5	134	13	52	17	11	75	19	25	5
41-65	887	137	55	218	4	138	19	50	13	10	68	20	34	7
>65	785	128	31	260	5	160	28	49	11	11	70	16	27	7

BV bevande, **VR** verdure/ortaggi, **DC** dolci, **FR** frutta, **LG** legumi, **LT** latte e derivati, **MN** minestre, **PA** paste asciutte, **PAR** paste ripiene, **RISO** riso e risotti, **SC** carne, **SD** piatti diversi, **SL** salumi, **SP** pesce, molluschi, crostacei, **UO** uova, frittate