call. 07

«Significatività» e «misurabilità» dell'inquinamento ambientale: un approccio oggettivo per recuperare determinatezza della fattispecie penale

di ALESSANDRA MASI, ENRICO NAPOLETANO e IASON VERGINELLI

Contributo sottoposto a procedimento di revisione (single blind) e approvato per la pubblicazione

SOMMARIO – 1. I limiti di «determinatezza» e «tassatività» del delitto di "inquinamento ambientale" (art. 452-bis c.p.). – **2.** La tecnica descrittiva dell'inquinamento penalmente rilevante. – **3.** Ipotesi tecnica di recupero di «determinatezza» della fattispecie. – **3.1.** La «misurabilità». – **3.1.1.** Matrice acqua. – **3.1.2.** Matrice aria. – **3.1.3.** Matrice suolo. – **3.2.** La «significatività». – **3.2.1.** Entità del titolo. – **3.2.2.** Stabilità nel tempo del superamento. – **3.2.3.** Estensione della sorgente di contaminazione. – **3.2.4.** Tipologia di contaminazione. – **3.2.5.** Prossimità e tipologia di recettori esposti (rischio sanitario). – **3.2.6.** Presenza di aree protette, falde e corpi idrici superficiali. – **3.2.7.** Evidenza rischi non accettabili. – **4.** Un possibile metodo di indagine per definire la «significatività». – **4.1.** Individuazione dei valori dei parametri. – **4.1.1.** Entità del superamento. – **4.1.2.** Stabilità nel tempo. – **4.1.3.** Estensione della sorgente. – **4.1.4.** Tipologia di contaminante. – **4.1.5.** Prossimità e tipologia di recettori. – **4.1.6.** Presenza di aree protette, falde e corpi idrici superficiali. – **4.1.7.** Matrice di screening finale.

ABSTRACT – *Il contributo affronta in chiave critica il delitto di inquinamento ambientale di cui all'art. 452-bis c.p., concentrandosi sui profili di indeterminatezza e di tensione con il principio di legalità che caratterizzano, sin dall'origine, la formulazione della fattispecie incriminatrice. In particolare, l'analisi muove dalla constatazione che i requisiti della "significatività" e della "misurabilità" dell'evento di compromissione o deterioramento delle matrici ambientali, pur concepiti dal legislatore del 2015 come elementi selettivi idonei a delimitare l'area del penalmente rilevante, si presentano in realtà come concetti elastici e privi di un adeguato ancoraggio oggettivo. Tale vaghezza ha determinato un progressivo spostamento del baricentro applicativo dalla legge alla giurisprudenza, con l'elaborazione di un "diritto vivente" chiamato a colmare le carenze descrittive della norma. Dopo aver ricostruito i fondamenti costituzionali dei principi di determinatezza e tassatività, il lavoro esamina criticamente l'evoluzione interpretativa della Corte di cassazione in ordine ai concetti di "compromissione" e "deterioramento", nonché ai criteri di "significatività" e "misurabilità". Pur riconoscendo il valore chiarificatore di tale elaborazione giurisprudenziale, gli Autori evidenziano come essa finisca per attribuire al giudice un ruolo sostitutivo del legislatore, incompatibile con il principio di legalità sancito dall'art. 25 Cost., soprattutto laddove la valutazione della significatività dell'evento venga affidata a parametri mutevoli, non standardizzati e potenzialmente disomogenei da caso a caso. Su queste basi, il contributo propone un approccio innovativo volto a recuperare la determinatezza della fattispecie penale attraverso l'introduzione di criteri tecnico-scientifici oggettivi, capaci di ridurre l'alea interpretativa e di garantire maggiore prevedibilità dell'intervento penale. In tale prospettiva, la "misurabilità" viene ricondotta alla possibilità di quantificazione dell'alterazione ambientale mediante parametri scientificamente validati, tenendo conto dei limiti di rilevabilità e quantificazione (LOD e LOQ), delle sostanze normate e dei valori soglia fissati dalla legislazione ambientale di settore, con specifico riferimento alle matrici acqua, aria e suolo. La "significatività", invece, è analizzata come concetto necessariamente multidimensionale, che non può essere predeterminato in via astratta ma deve essere valutato alla luce di una pluralità di fattori concorrenti. Tra questi vengono individuati, in particolare, l'entità del superamento dei limiti normativi, la stabilità temporale del fenomeno, l'estensione della sorgente di contaminazione, la tipologia del contaminante (in termini di degradabilità, mobilità e tossicità), la prossimità e la tipologia dei recettori esposti, la presenza di aree protette o di corpi idrici e, infine, l'evidenza di rischi non accettabili sotto il profilo sanitario e ambientale. Sulla base di tali elementi, gli Autori*

delineano un possibile metodo di indagine quali-quantitativo fondato sull'attribuzione di punteggi e pesi ai diversi parametri, finalizzato alla costruzione di un indice sintetico di significatività. Tale modello, pur non pretendendo di sostituirsi alla valutazione giuridica, è concepito come strumento di supporto oggettivo e replicabile, idoneo a orientare tanto l'attività degli organi di controllo quanto l'accertamento giudiziale. La proposta si colloca, così, in una prospettiva di dialogo interdisciplinare tra diritto penale e scienze ambientali, auspicando un coinvolgimento istituzionale degli enti tecnici competenti per la definizione condivisa degli standard applicativi. In conclusione, il lavoro sostiene che solo attraverso l'integrazione di criteri tecnici verificabili e di metodologie di valutazione standardizzate sia possibile restituire al delitto di inquinamento ambientale un adeguato grado di determinatezza, preservando al contempo l'effettività della tutela penale dell'ambiente e il rispetto delle garanzie fondamentali del diritto penale liberale.

KEY-WORDS – significatività; misurabilità; inquinamento ambientale; determinatezza; tassatività; danno; metodo scientifico.

1. I limiti di «determinatezza» e «tassatività» del delitto di "inquinamento ambientale" (art. 452-*bis* c.p.).

L'art. 452-*bis* c.p. prevede che è punito con la pena della reclusione e della multa *"chiunque abusivamente cagiona una compromissione o un deterioramento significativi e misurabili (a) delle acque o dell'aria, o di porzioni estese o significative del suolo o del sottosuolo; (b) di un ecosistema, della biodiversità, anche agraria, della flora o della fauna"*. Inoltre, *"quando l'inquinamento è prodotto in un'area naturale protetta o sottoposta a vincolo paesaggistico, ambientale, storico, artistico, architettonico o archeologico, ovvero in danno di specie animali o vegetali protette, la pena è aumentata"*.

Il fatto criminoso di inquinamento ambientale descritto nell'art. 452-*bis* del codice penale, letto nella sua interezza, non brilla certamente per chiarezza.

La nascita e la scrittura di una norma penale costituisce l'accadimento più importante in un ordinamento giuridico democratico per il suo oggettivo significato di introduzione nel tessuto sociale di una nuova regola di comportamento per tutti i consociati alla cui violazione scatta la sanzione penale. ANSELM FEUERBACH, illustre criminalista tedesco dei primi anni dell'Ottocento, sintetizza il fondamento politico del principio di legalità nella formula latina *nulla poena sine lege* e la raccorda concettualmente con il problema del fondamento della pena, ravvisato nelle finalità di prevenzione generale cui la sanzione penale è chiamata ad esercitare: se la minaccia della sanzione penale deve funzionare da deterrente psicologico nel distogliere la generalità dei consociati dal commettere reati, allora, è necessario che i cittadini conoscano prima quali sono i fatti, la cui realizzazione comporta l'inflizione della sanzione.

Tuttavia, il principio di legalità sarebbe rispettato soltanto *"nella forma, ma eluso nella sostanza, se la legge che eleva a reato un dato fatto lo configurasse in termini così generici da non lasciar individuare con sufficiente precisione il comportamento penalmente sanzionato: appartiene alla stessa ragione ispiratrice del principio di legalità l'esigenza della tassatività o sufficiente determinatezza della fattispecie penale"*[1]; laddove – si badi bene – ancorché possano sembrare sinonimi, la "determinatezza" attiene alla tecnica legislativa di formulazione della fattispecie incriminatrice mentre, invece, la "tassatività" attiene al divieto per il Giudice di applicare la norma penale a casi da essa non espressamente previsti.

In questo senso, il principio di determinatezza fa da contrappeso al criterio di frammentarietà in materia penale in quanto, se è vero che la tutela penale è apprestata soltanto

[1] FIANDACA-MUSCO, *Manuale di Diritto penale. Parte Generale,* VII ed., 2017, 85.

contro determinate forme di aggressione ai beni giuridici protetti, è altrettanto necessario, allora, che il legislatore specifichi con sufficiente precisione i comportamenti che integrano siffatte modalità aggressive.

Il ruolo del principio di determinatezza è, dunque, centrale nel sistema penale perché coinvolge la tecnica di formulazione delle fattispecie criminose e tende a salvaguardare i cittadini dagli eventuali *abusi interpretativi* del potere giudiziario nella fase applicativa della norma al fatto concreto.

Il principio di determinatezza rappresenta, quindi, *"una condizione indispensabile perché la norma possa efficacemente fungere da guida del comportamento del cittadino"*[2] il quale, per vedersi rimproverato un reato, deve essere messo nelle condizioni di conoscere perfettamente, prima di porre in atto la sua condotta, il contenuto e il significato della relativa incriminazione onde poter orientare secondo Legge le proprie azioni. Quanto più il cittadino sarà posto in condizione di discernere senza ambiguità ciò che è lecito da ciò che non lo è, tanto più crescerà il suo rapporto di fiducia partecipativa nei confronti dello Stato e delle sue istituzioni, evitando così il rischio di trovarsi vittima di spregiudicate "operazioni creatrici" dell'illecito penale ad opera di una giurisprudenza sostitutiva delle deficienze del Legislatore.

2. La tecnica descrittiva dell'inquinamento penalmente rilevante.

È dunque secondo queste coordinate normative che occorre leggere la descrizione della nuova fattispecie di inquinamento ambientale, articolata secondo cinque elementi:

- la condotta deve essere "abusiva";
- l'evento di danno deve estrinsecarsi in una "compromissione" o in un "deterioramento";
- gli indicatori per determinare la gravità dell'evento sono la "significatività" e la "misurabilità".

Cinque termini che, nello schema legale della fattispecie incriminatrice, si inseriscono quali *elementi di normazione*, figli di una tecnica di legiferazione – a giudizio di chi scrive – assai confusionaria.

Sul piano descrittivo della condotta criminosa di inquinamento il cittadino, per potersi orientare secondo Legge, deve sapere quando questa si qualificabile come *abusiva* e, in secondo luogo, quando la stessa abbia causato una *compromissione* o un *deterioramento* di taluna delle matrici ambientali tutelate dalla norma penale che abbia raggiunto una soglia di *significatività* che sia oggettivamente *misurabile*.

Soffermandoci soltanto alla lettura della norma così com'è descritta dal Legislatore del 2015 nell'art. 452-*bis* del codice penale, tale chiarezza interpretativa non emerge affatto e la sensazione di trovarsi disorientati dall'impossibilità di cogliere prima della commissione del fatto quale sia la differenza tra un *danneggiamento* o una *compromissione* di una matrice ambientale e di sapere quali sono i parametri a cui rifarsi per valutare l'entità del *danno* per misurarne la portata e stabilirne con ragionevole certezza la *significatività* del dato oggettivo è assai forte e all'evidenza in contrasto con lo scopo del principio di legalità, declinato nel principio della sufficiente determinatezza della fattispecie criminosa.

Tuttavia, non può sottacersi che la Corte di Cassazione[3] ha, nella quasi totalità dei casi, respinto le eccezioni sollevate sotto il profilo della violazione del principio di tassatività,

---

[2] FIANDACA-MUSCO, *Diritto penale,* cit., 86.

[3] Da ultimo, Cass. Pen., Sez. III, Sentenza del 30/01/2020, n. 9736, Pres. RAMACCI L., Rel. CORBETTA S. secondo cui *«la fattispecie in esame non confligge con l'art. 25, comma 2, Cost., in quanto le espressioni impiegate dal legislatore appaiono sufficientemente univoche nella descrizione del fatto vietato, che, essendo modellato come reato di evento a forma libera, si incentra sulla causazione di una "compromissione" o di un "deterioramento": locuzioni che rimandano a un fatto di*

ricorrendo ora al criterio del "significato linguistico" – per cui al Giudice sarebbe sempre possibile rintracciare un significato determinato, corrispondente al normale uso linguistico, dei termini impiegati nelle norme sospettate di eccessiva indeterminatezza – ora al "diritto vivente" – identificato con l'interpretazione costante o comunque dominante che la giurisprudenza di legittimità conferisce alla norma incriminatrice o, in mancanza di un indirizzo costante o prevalente, identificato nella decisione insindacabile del Giudice nel valutare le varie interpretazioni giurisprudenziali – .

Il "diritto vivente" della giurisprudenza della Suprema Corte di Cassazione parrebbe aver superato il *deficit* di determinatezza della norma incriminatrice dell'inquinamento ambientale quanto ai termini della "compromissione" o "deterioramento" nonché della "significatività" e "misurabilità": ma è davvero così?

Innanzitutto, è ben fin da subito ricordare che all'indomani della pubblicazione della Legge 22 maggio 2015 n. 68, il Massimario della Cassazione, proprio perché la norma si presentava oscura, è intervenuto fornendo delle prime interpretazioni. Riferendosi alla "compromissione" o al "deterioramento", il Massimario chiarisce che *"dal punto di vista strettamente lessicale, la prima espressione si distingue dalla seconda per una proiezione dinamica degli effetti, nel senso appunto di una situazione tendenzialmente irrimediabile ("compromessa") che può perciò teoricamente ricomprendere condotte causali al tempo stesso minori o maggiori di un'azione di danneggiamento, ma che rispetto a questo abbiano un maggior contenuto di pregiudizio futuro"*[4].

Questa interpretazione è stata smentita dalla prima pronuncia della Cassazione in quanto attribuisce alla compromissione un'intensità lesiva più elevata rispetto al deterioramento, che viene descritto come *"una perdita del grado di usabilità e/o di funzionalità ecologica"*, mentre invece la norma prevede alternativamente le due nozioni senza stabilire un rapporto di progressione: *"l'indicazione dei due termini con la congiunzione disgiuntiva "o" svolge una funzione di collegamento tra i due termini – autonomamente considerati dal legislatore, in alternativa tra loro – che indicano fenomeni sostanzialmente equivalenti negli effetti, in quanto si risolvono entrambi in una alterazione, ossia in una modifica dell'originaria consistenza della matrice ambientale o dell'ecosistema caratterizzata, nel caso della compromissione, in una condizione di rischio o pericolo che potrebbe definirsi di "squilibrio funzionale", perché incidente sui normali processi naturali correlati alla specificità della matrice ambientale o dell'ecosistema"* [5] e che attiene alla *"relazione del bene aggredito con l'uomo e ai bisogni o interessi che il bene medesimo deve soddisfare"*[6]; invece, in quello del *"deterioramento, come "squilibrio strutturale", caratterizzato da un decadimento di stato o di qualità di questi ultimi"*[7] e che consiste in una *"riduzione della cosa che ne costituisce oggetto in uno stato tale da diminuirne in modo apprezzabile, il valore o da impedirne anche parzialmente l'uso, ovvero da rendere necessaria, per il ripristino, una attività non agevole"*[8]. Da ciò consegue che *"non assume rilievo l'eventuale reversibilità del fenomeno inquinante, se non come uno degli elementi di distinzione tra il delitto in esame e quello, più severamente punito, del disastro ambientale di cui all'art. 452 quater c.p."*[9].

---

danneggiamento in relazione alle quali la giurisprudenza di questa Corte ha fornito un'interpretazione uniforme e costante. Ciò consente di ritenere rispettato il vincolo imposto dall'art. 25, comma 2, Cost. nella descrizione dell'illecito penale».

[4] MORLINO, Rel. n. III/04/2015, Corte di Cassazione. Ufficio del Massimario, cit., 4.

[5] Cass. pen., Sez. III, 3 novembre 2016 (ud. 21 settembre 2016), n. 46170, SIMONELLI, Rv. 268059.

[6] Cass. Pen., Sez. III, 30 Marzo 2017 (ud. 31 Gennaio 2017) n. 15865, RIZZO, Rv. 269489.

[7] Cass. pen., Sez. III, SIMONELLI, cit.

[8] Cass. pen., Sez. III, RIZZO, cit.

[9] Cass. pen., Sez. III, SIMONELLI, cit.

Le condotte poste in essere successivamente all'iniziale deterioramento o compromissione del bene non costituiscono, quindi, un *post-factum* non punibile ma integrano, invece, singoli atti di un'unica azione lesiva che spostano in avanti la cessazione della consumazione, sino a quando la compromissione o il deterioramento diventano irreversibili o comportano una delle conseguenze tipiche previste dal successivo reato di disastro ambientale. L'evento può assumere il carattere di *significatività* anche a seguito di un'attività seriale ripetuta nel tempo, ciascuna delle quali, isolatamente considerata, non è in grado di incidere sul bene tutelato in termini, appunto, di significatività. Da ciò deriva che l'evento è unico, allorquando sia il risultato della sommatoria di una pluralità di condotte, all'esito delle quali il deterioramento o la compromissione di un medesimo contesto ambientale raggiunge il grado di compromissione richiesto per l'integrazione del fatto.

L'ambito di operatività dell'art. 452-*bis* c.p. è delimitato dalla ulteriore precisazione che la compromissione o il deterioramento devono essere comunque, "significativi" e "misurabili", venendo così elevato in modo considerevole il livello di lesività della condotta, escludendo i fatti di minore rilievo. Il Massimario chiarisce che *"se la "significatività" indica una situazione di chiara evidenza dell'evento di inquinamento in virtù della sua dimensione, la richiesta compresenza di un coefficiente di "misurabilità" rimanda alla necessità di una oggettiva possibilità di quantificazione, tanto con riferimento alle matrici aggredite che ai parametri scientifici (biologici, chimici, organici, naturalistici, etc.) dell'alterazione"*. A tal proposito la Cassazione ha precisato che *"occorre verificare se vi siano parametri di riferimento fissati dal legislatore e, in secondo luogo, valutare se lo scostamento sia stato significativo: cioè se questo abbia raggiunto un livello di intensità tale da superare il mero pericolo derivante dalla violazione degli standards – eventualmente rilevante a titolo contravvenzionale – ma abbia comportato un danno effettivo all'ambiente. (...) Laddove, poi, manchi il riferimento a dei limiti tabellari, pur non potendo escludere che l'inquinamento sia comunque misurabile, ove sia possibile quantificare il livello di compromissione delle matrici ambientali interessate tramite la verifica di parametri (chimici, biologici, naturalistici, organici), soccorre il parametro della significatività in funzione integrativa e compensativa. In sostanza, quindi, il requisito della misurabilità fa riferimento alla possibilità di rappresentazione quantitativa del fenomeno, mentre quello della significatività attiene ai riflessi sulla componente interessata ed opera quando la lesione abbia raggiunto un livello di intensità tale che l'evento non è soltanto pericoloso per l'ambiente ma lo ha effettivamente compromesso o deteriorato. (...) Tali definizioni consentono, in definitiva, di tracciare una linea netta di demarcazione rispetto alle fattispecie contravvenzionali previste nel Decreto ambientale: il confine sul lato inferiore della condotta dovrebbe essere rappresentato dal mero superamento dei limiti tabellari – le concentrazioni soglie di rischio (CSR) punite dalla diversa fattispecie di pericolo prevista dall'art. 257 del D.Lgs. 152 del 2006, ove non seguito dalla bonifica del sito – che non abbia arrecato un evento di notevole inquinamento; mentre sul versante opposto la fattispecie confina, nella progressione immaginata dal legislatore, con il più grave reato di disastro, che pretende – come si dirà oltre – un'alterazione "irreversibile o particolarmente onerosa" dell'ecosistema: di modo che l'inquinamento è ravvisabile in tutte le condotte di danneggiamento delle matrici che, all'esito della stima fattane, producono una alterazione significativa del sistema, senza assumere le connotazioni dell'evento tendenzialmente irrimediabile"*[10].

Se è vero che lo scopo del *principio di determinatezza* è la descrizione sufficientemente chiara e precisa della condotta che costituisce un illecito penale, circoscrivendo la sanzione penale a specifiche modalità di aggressione del bene giuridico protetto, così da mettere il

[10] Cass. pen., Sez. III, SIMONELLI, cit.

cittadino nella condizione di conoscere prima il contenuto e il significato della relativa incriminazione senza ambiguità tra ciò che è lecito da ciò che non lo è, allora, è altrettanto vero che il *principio di tassatività* impone al Giudice di applicare la norma penale ai soli casi da essa espressamente previsti, salvaguardando in tal modo i cittadini dagli eventuali *abusi interpretativi* del potere giudiziario nella fase di accertamento giudiziale del fatto che, nell'incertezza testuale del significato della norma, muterebbe da Giudice a Giudice.

Il ragionamento della Cassazione viola proprio questi principi, arrogandosi il diritto di interpretare termini vaghi e generici, sostituendosi, in tal modo al ruolo che avrebbe dovuto assolvere più efficacemente il Legislatore del 2015. Per vero, l'opera interpretativa della Suprema Corte ha avuto certamente il merito di produrre "diritto vivente" che ha fornito utili chiarimenti per ciò che debba intendersi per "compromissione" o "deterioramento" o ancora per la "misurabilità" del danno ambientale.

Tuttavia, un punto è insuperabile: la *significatività* dello scostamento è l'unico vero punto che nemmeno il diritto vivente è stato in grado – e probabilmente non lo sarà nemmeno in futuro – di declinare con ragionevole certezza e rigore scientifico. Ricorrendo al ragionamento Aristotelico, se la Tesi condivisa della nostra argomentazione è che il superamento di un limite non equivale automaticamente ad una situazione di danno o di pericolo per l'ambiente, allora l'Antitesi è che la Legge non può predeterminare quando lo scostamento dal limite assume rilevanza o no. Ancor più complesso e discrezionale sarebbe stabilire il livello di significatività in assenza di limiti tabellari fissati dalla Legge. Né tanto meno questa valutazione può essere demandata all'opera interpretativa del Giudice perché sarebbe suscettiva di applicazioni troppo duttili e perciò facilmente manipolabili, attribuendogli un ruolo suppletivo del Legislatore, vietato dal principio di legalità sancito a livello costituzionale nell'art. 25.

Appare, allora, centrale per superare questa aleatorietà interpretativa della fattispecie delittuosa in esame e sottrarre una disomogeneità in fase applicativa ad opera dei Giudici, recuperare in chiave tecnica quel deficit di determinatezza della fattispecie negli indicatori della misurabilità e significatività che concorrono a definire la portata offensiva della compromissione o deterioramento della condotta abusiva di inquinamento.

3. Ipotesi tecnica di recupero della «determinatezza» della fattispecie.

3.1. La «misurabilità».

Per essere in grado di valutare la portata di un evento negativo sull'ambiente, verosimilmente, si dovrà quantificare o stimare la portata degli effetti negativi ad esso legati.

La misurabilità è, quindi, strettamente legata alla quantificazione.
È chiaro, poi, che la semplice quantificazione *ex post* rispetto all'evento negativo, seppur utile a fornire un'istantanea di quello che è lo stato dell'ambiente, non può costituire una prova a carico di chi è responsabile dell'evento se non si è in grado di confrontarla con la situazione *ex ante*; bisogna, cioè, poter accertare un avvenuto deterioramento o compromissione.

Se si pensa al caso del rilascio di sostanze inquinanti all'interno di una o più matrici ambientali (acqua, aria e suolo), il concetto di misurabilità si traduce, per un tecnico, nella misura delle concentrazioni di tali inquinanti nel comparto ambientale interessato.

Due sono i quesiti che sorgono in questo caso: (i) siamo davvero in grado di misurare qualsiasi concentrazione? (ii) Cosa misurare?

Il primo quesito riguarda, molto semplicemente, i limiti che ci vengono imposti dalla tecnologia che abbiamo a disposizione; parleremo, quindi, del LOD (Limit of Detection) e del LOQ (Limit of Quantification). Il limite di rilevabilità (LOD) è, secondo la definizione

data dall'INAIL[11], "*il valore misurato, ottenuto con una procedura di misura assegnata, per il quale la probabilità di dichiarare erroneamente l'assenza di una componente costituente un materiale è β, essendo data la probabilità α di dichiarare erroneamente la sua presenza; la Iupac raccomanda valori di α e β uguali a 0,05*"; il limite di quantificazione (LOQ), invece, è "*il valore oltre il quale è legittimo eseguire misure quantitative*". Se il segnale ottenuto nella misurazione di un analita è maggiore del LOD possiamo affermare, con un piccolissimo livello di incertezza, che questo è effettivamente presente ma sarà possibile andare a svolgere misure quantitative solamente se il segnale è maggiore del LOQ. È logico che il LOD è minore del LOQ.

I due limiti dipendono dal tipo di strumento utilizzato e dai criteri considerati per il calcolo statistico e la metodologia impiegata per il calcolo deve essere sempre riportata nel momento in cui si forniscono questi valori.

Per rispondere alla seconda domanda, invece, basta riflettere sul fatto che esistono centinaia di migliaia di sostanze chimiche tra naturali e di sintesi e che, nel caso di uno sversamento, una o, verosimilmente, più di queste saranno presenti nell'area interessata dallo sversamento stesso in concentrazioni più o meno elevate. È evidente che l'indagine non potrà basarsi su un'analisi di ogni sostanza esistente ma sarà funzione di due elementi principali: il tipo di evento avvenuto/attività condotta sul sito, i contaminanti normati. Per chiarire il concetto del legame tra attività e classe di contaminante da indagare, si riporta un esempio non esaustivo nella Tabella 1.

Il tema delle sostanze normate è, banalmente, legato al fatto che, se anche avessimo delle misurazioni relative a tutti gli elementi e/o composti presenti in un sito, non sapremmo come comportarci nel caso in cui non dovessimo disporre di un valore di riferimento fornito dal legislatore (in base a cosa potremmo definire un eccesso?).

Attività	**Metalli e Inorganici**	**BTEX e Idrocarburi**	**IPA**	**Solventi clorurati**	**Fenoli**	**PCB**	**Diossine e Furani**	**Pesticidi**
Punti vendita carburante	x	x		x				
Acciaierie	x	x						
Industria chimica	x	x	x	x	x	x	x	
Lavorazione del legno	x	x			x	x	x	x
Aeroporti	x	x	x	x				

Tabella 1: Legame attività-sostanza[12]

È necessario comunque far notare che si sta sempre più ponendo l'attenzione su contaminanti (detti emergenti) che, pur essendo sempre più frequentemente rilevati, non sono attualmente normati in ambito nazionale (antibiotici, farmaci, microplastiche). La mancanza di valori limite per queste sostanze, che, comunque, destano preoccupazione dal punto di vista ambientale e sanitario, è dovuta alla scarsa conoscenza degli effetti e/o alla loro recente scoperta nelle varie matrici ambientali. Per alcune sostanze, tuttavia, il quadro sta rapidamente evolvendo.

In particolare, con il D.Lgs. 21 febbraio 2024, n. 31, che recepisce la Direttiva (UE) 2020/2184 sulla qualità delle acque destinate al consumo umano, sono stati introdotti limiti specifici e vincolanti per i PFAS, che quindi non rientrano più tra i contaminanti non normati. È ragionevole aspettarsi nei prossimi anni un progressivo aggiornamento della normativa

[11] https://www.inail.it/cs/internet/limiti-di-rilevabilit-e-quantificazione.html
[12] INAIL (2014). Il rischio chimico per i lavoratori nei siti contaminati. Manuale Operativo.

ambientale, anche per altri contaminanti emergenti. Va inoltre ricordato che, in attesa di limiti cogenti, organismi riconosciuti a livello internazionale come OMS e ISS forniscono valori guida, spesso adottati come riferimento operativo dalle autorità competenti.

Ad ogni modo, per definire meglio il concetto di misurabilità è fondamentale andare a considerare le singole matrici ambientali interessate, poiché per ognuna di esse si presentano scenari specifici per quanto riguarda la normativa di riferimento (valori limite) e, quindi, le specifiche sostanze da andare a ricercare.

3.1.1. Matrice acqua.

Per ciò che concerne la matrice acqua, bisogna, innanzitutto, fare una distinzione, seppur non esaustiva, tra:

- Acque superficiali che, secondo il D.Lgs. 152/2006, vengono definite come "*le acque interne, ad eccezione di quelle sotterranee, le acque di transizione e le acque costiere, tranne per quanto riguarda lo stato chimico, in relazione al quale sono incluse anche le acque territoriali*";
- Acque sotterranee che, sempre in accordo con il D.Lgs. 152/2006, "*sono tutte le acque che si trovano sotto la superficie del suolo nella zona di saturazione e a contatto diretto con il suolo o il sottosuolo*".

La normativa cui dover far riferimento per quanto riguarda la prima categoria è contenuta nella Parte III del D.Lgs. 152/2006. Per quanto riguarda la seconda, invece, i limiti da considerare sono riportati all'interno della Parte V dello stesso decreto.

Nel caso in cui le acque siano destinate al consumo umano, tuttavia, i valori limite da rispettare ai punti di prelievo sono oggi definiti dal D.Lgs. 21 febbraio 2024, n. 31, che ha recepito la Direttiva (UE) 2020/2184 e ha abrogato il precedente D.Lgs. 31/2001.. Nel momento, quindi, in cui bisogna andare a valutare l'applicabilità di una norma piuttosto che dell'altra, potrebbero sorgere alcuni problemi legati alle sostanze normate e ai rispettivi valori limite assegnati. In conformità con il Principio di Precauzione[13], però, in caso di incertezza, sarà opportuno porsi nella situazione più cautelativa.

In Tabella 2, si riporta un confronto tra i limiti del D.Lgs. 152/2006 e quelli del D.Lgs. 31/2024 per alcune sostanze. Da un'analisi più approfondita degli allegati ai due decreti, due elementi appaiono evidenti: il primo è che il numero di sostanze normate dal D.Lgs. 152/2006 è nettamente superiore rispetto a quello delle sostanze citate nel D.Lgs. 31/2024, questo, probabilmente, in virtù del fatto che il primo non deve tener conto esclusivamente delle ricadute sulla salute umana; il secondo è che, per molti dei parametri presenti in entrambi i decreti, i limiti sono praticamente sovrapponibili.

Sostanza	**D.Lgs. 152/2006 [µg/L]**	**D.Lgs. 31/2024 [µg/L]**
Boro	1000	1500
Cadmio	5	5
Cromo VI	5	-
Rame	1000	2000
Piombo	10	10 (fino al 2036)
Zinco	3000	-

[13] Sull'evoluzione comunitaria e sul percorso giurisprudenziale del principio di precauzione si veda, per tutti, FICCO *(a cura di)*, *Gestire i rifiuti tra legge e tecnica*, Ed. Ambiente, VII ed., Milano, 2019, 35; GRAGNANI, *Il principio di precauzione come modello di tutela dell'ambiente dell'uomo, delle generazioni future*, in *Riv. dir. civ.*, 2003, 9 ss; JONAS, *Il principio di responsabilità. Un'etica per la civiltà tecnologica*, Torino, 1990; BECK, *La società del rischio. Verso una seconda modernità*, Roma, 2000, a cura di PRIVITERA; ID., *Conditio humana, Il rischio nella società globale*, Bari, 2008.

Nitrati	-	50000
Benzene	1	1
Cloruro di vinile	0.5	0.5

Tabella 2: Esempio confronto limiti D.Lgs. 152/2006 e D.Lgs. 31/2024

3.1.2. Matrice aria.

In questo caso, le fonti normative cui riferirsi sono due: la Parte V del D.Lgs. 152/2006, che "*si applica agli impianti, inclusi gli impianti termici civili non disciplinati dal titolo II, ed alle attività che producono emissioni in atmosfera*" e il D.Lgs. 155/2010 per i limiti riferiti all'aria ambiente. Nelle Tabelle 3 e 4, si riportano alcuni limiti contenuti all'interno di quest'ultimo.

Biossido di zolfo	Protezione della salute umana	Protezione della vegetazione
Soglia di valutazione superiore	60% del valore limite sulle 24 ore (75 µg/m^3 da non superare più di 3 volte per anno civile)	60% del livello critico invernale (12 µg/m^3)
Soglia di valutazione inferiore	40% del valore limite sulle 24 ore (50 µg/m^3 da non superare più di 3 volte per anno civile)	40% del livello critico invernale (8 µg/m^3)

Tabella 3: Limiti Biossido di zolfo, Allegato 2 D.Lgs. 155/2010

Particolato atmosferico (PM10, PM2.5)	Media su 24 ore PM10	Media annuale PM10	Media annuale PM2.5
Soglia di valutazione superiore	70% del valore limite (35 µg/m^3 da non superare più di 35 volte per anno civile)	70% del valore limite (28 µg/m^3)	70% del valore limite (17 µg/m^3)
Soglia di valutazione inferiore	50% del valore limite (25 µg/m^3 da non superare più di 35 volte per anno civile)	50% del valore limite (20 µg/m^3)	50% del valore limite (12 µg/m^3)

Tabella 4: Limiti particolato atmosferico, Allegato 2 D.Lgs. 155/2010

3.1.3. Matrice suolo.

Per questa matrice, i riferimenti normativi sono contenuti all'interno della Parte IV del D.Lgs. 152/2006.
Nella tabella che segue, si riporta uno stralcio della tabella presente nell'Allegato 5.

Sostanza	**A** **Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale (mg kg^{-1} espressi come ss)**	**B** **Siti ad uso commerciale e industriale (mg kg^{-1} espressi come ss)**
Arsenico	20	50
Cadmio	2	15
Cromo VI	2	15
Benzene	0.1	2
Etilbenzene	0.5	50
Toluene	0.5	50
Benzo(a)pirene	0.1	10
Triclorometano	0.1	5

Tetracloroetilene (PCE)	0.5	20
Cloruro di vinile	0.01	0.1

Tabella 5: Esempio limiti Tabella 1 Allegato 5 Parte IV D.Lgs. 152/2006

È interessante spendere qualche parola su quanto riportato in Tabella 5. I limiti si riferiscono alle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) per i suoli insaturi (suolo superficiale e profondo) e vengono utilizzati come valori di screening nell'ambito della valutazione e gestione dei siti potenzialmente contaminati. . La classe A è riferita a siti ad uso "residenziale", mentre la classe B a siti con usi commerciali e industriali; i limiti, per la stessa sostanza, per la classe B sono più alti rispetto a quelli individuati per la classe A. Come è noto a chi opera nel settore delle bonifiche, infatti, la necessità di intervento è legata al rischio sanitario-ambientale, dunque, diventa necessario stabilire il tipo di recettore esposto e lo scenario di esposizione di questo e il grado di protezione che si intende garantirgli.

Sebbene il danno sanitario, inteso come danno sulla salute della popolazione, sia compreso nel danno ambientale, non si può certo dire che lo esaurisca; quest'ultimo, infatti, non considera esclusivamente gli effetti avversi provocati sulla popolazione esposta, come si evince dalla normativa. Dalla precisazione fatta poco prima, però, si può cominciare a comprendere quanto verrà specificato successivamente e cioè che non esiste una significatività che possa essere stabilità aprioristicamente; questa andrà valutata, di volta in volta, tenendo in considerazione vari elementi, di cui la tipologia di recettore non costituisce che un esempio.

3.2. La «significatività».

La significatività viene descritta dalla Corte di Cassazione – come detto – in "*una situazione di chiara evidenza dell'evento di inquinamento in virtù della sua dimensione*". Dal punto di vista tecnico, questo si traduce col dover andare a considerare una serie di parametri che possono entrare in gioco simultaneamente o singolarmente in funzione dell'evento di contaminazione.

I parametri che possono concorrere alla definizione della significatività devono tener conto, in via generale, della tipologia di inquinante, della specificità del sito e della natura del superamento dei limiti imposti dalla norma. Nel dettaglio, per definire un evento significativo, dal punto di vista tecnico, bisogna sicuramente tener conto di:

- entità del superamento;
- stabilità nel tempo del superamento;
- estensione della sorgente di contaminazione;
- tipologia di contaminate (caratteristiche fisico-chimiche);
- prossimità e tipologia di recettori esposti (rischio sanitario);
- presenza di aree protette, falde e corpi idrici superficiali;
- evidenza di rischi non accettabili.

3.2.1. Entità del superamento.

L'associazione tra evento di contaminazione e superamento dei valori limite previsti dalle norme è abbastanza immediata e, sicuramente, non è sbagliata. Tuttavia, il mero superamento del limite non ci dà informazioni sulla significatività dell'evento, che, di fatto, dovrà essere proporzionale, verosimilmente, all'entità del superamento (di quanto il valore riscontrato è superiore al limite?).

Quanto appena detto, è concorde con quanto affermato dalla Corte di Cassazione, la quale specifica che "*occorre verificare se vi siano parametri quali-quantitativi di riferimento fissati*

dal legislatore e, in secondo luogo, valutare se lo scostamento sia stato significativo: cioè se questo abbia raggiunto un livello di intensità tale da superare il mero pericolo derivante dalla violazione degli standards eventualmente rilevante a titolo contravvenzionale ma abbia comportato un danno effettivo all'ambiente"[14].

3.2.2. Stabilità nel tempo del superamento.

Riuscire a capire quale sia il ruolo di questo parametro nella definizione della significatività è cosa abbastanza facile. È chiaro, infatti, che sarà ragionevole associare un evento significativo ad un superamento protratto nel tempo piuttosto che ad uno sporadico.

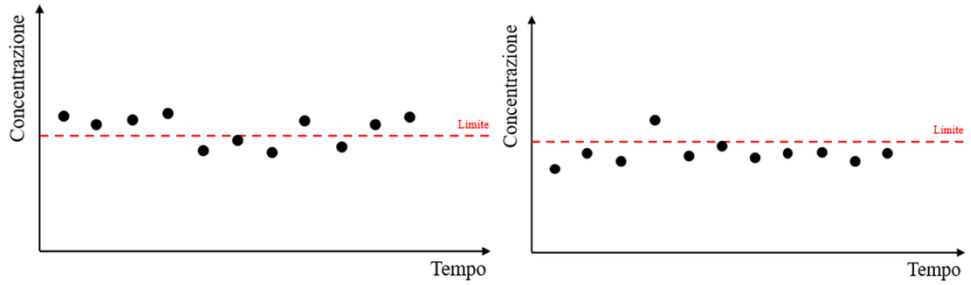


Figura 1: Evento protratto nel tempo (sx.) ed Evento sporadico (dx.)

3.2.3. Estensione della sorgente di contaminazione.

Anche il ruolo di questo elemento è di immediata comprensione. Una contaminazione di elevata estensione areale inciderà sulla significatività dell'evento in maniera diversa rispetto a quanto non potrà fare una sorgente di estensioni ridotte. Infatti, a parità di concentrazione rilevata, una sorgente più estesa o caratterizzata da un volume maggiore di matrice contaminata comporta una massa totale di inquinante superiore nell'ambiente. Ne derivano potenziali flussi di massi più elevati nel tempo e conseguentemente anche un numero superiore di popolazione potenzialmente esposta.

3.2.4. Tipologia di contaminante.

Le caratteristiche chimico-fisiche e, dunque, gli effetti del contaminante per cui si è evidenziato un superamento concorrono, sicuramente, alla definizione della significatività dell'evento di contaminazione.

Dal punto di vista ambientale, due caratteristiche di assoluto interesse sono la degradabilità e la mobilità del contaminante in esame.

Dal punto di vista degli effetti, è ragionevole considerare la Tossicità come parametro fondamentale. Bisogna puntualizzare che i dati tossicologici cui si fa riferimento sono, nella maggior parte dei casi, riferiti agli effetti sulla salute umana e, quindi, tengono un po' meno conto degli altri bersagli che, pure, dovrebbero essere considerati nella valutazione della significatività dell'evento.

a) Degradabilità.

[14] Cass. pen., Sez. III, 3 novembre 2016 (ud. 21 settembre 2016), n. 46170, SIMONELLI, Rv. 268059.

La degradabilità ha a che fare con la stabilità di una certa sostanza nel tempo. Generalmente, a sostanze non degradabili si tende ad associare un livello di allerta maggiore.
Dire, però, che il grado di attenzione che si deve porre nei confronti delle sostanze che, al contrario, subiscono processi degradativi nell'ambiente (spesso mediati da microorganismi) è sempre basso non è del tutto corretto.
L'esempio che qui si riporta è quello della degradazione (declorurazione) riduttiva del Percloroetilene (PCE). Il PCE è un solvente clorurato inserito nella categoria 2A dallo IARC (vedere Tabella 6). Se immesso nell'ambiente, in determinate condizioni, esso può andare incontro a processi degradativi di tipo riduttivo nei quali gli atomi di cloro vengono progressivamente sostituiti da atomi di idrogeno, fino all'ottenimento dell'Etano, come mostrato in Figura 2. I prodotti intermedi ("figli") non sono meno pericolosi del composto di partenza ("genitore"); in particolare, il Cloruro di vinile (VC) è un cancerogeno certo per l'uomo (inserito nella categoria 1 dallo IARC), e risulta più tossico e anche più mobile del PCE. Se, quindi, il percorso degradativo dovesse interrompersi al VC è ovvio che non si otterrebbe alcun giovamento da questo.
Fatta questa dovuta precisazione, è possibile affermare che, in via generale più un composto è biodegradabile, meno significativo sarà l'evento di contaminazione.

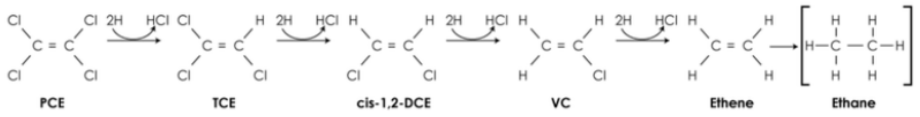


Figura 2: Degradazione riduttiva PCE[15]

b) Mobilità.

La mobilità si riferisce alla tendenza di una sostanza a migrare, portando così la contaminazione ad diffondersi nell'ambiente. È legata alla propensione del composto a passare da fasi meno mobili (adsorbito al suolo) a fasi più mobili (disciolto in acqua o in fase gassosa). La mobilità dipende dal tipo di sostanza e dalle condizioni ambientali.

Una valutazione della mobilità può essere fatta in funzione di parametri come la Solubilità e il Coefficiente di ripartizione suolo-acqua.

Definite le condizioni di temperatura e pressione, la Solubilità esprime la massa massima della data sostanza che può essere contenuta nell'unità di volume di acqua alle date condizioni di temperatura e pressione. Più il contaminante è solubile, più questo tenderà a disciogliersi in acqua.

Il Coefficiente di ripartizione suolo-acqua è definito come il rapporto, all'equilibrio, tra la frazione della sostanza adsorbita al suolo, espressa come massa di contaminante su massa di suolo e quella presente in acqua, espressa come massa di contaminante su volume di acqua. Più è alto questo coefficiente, più alta è la tendenza del contaminante a rimanere adsorbito al suolo.

Un'altra proprietà che può essere valutata è la Volatilità di una sostanza, ossia la sua tendenza a passare in fase vapore. La presenza di contaminanti volatili richiede l'inclusione di scenari di esposizione per via inalatoria, sia in area sorgente (on-site) sia nelle aree circostanti (off-site).

[15] Major, David. (2009). Remediation of DNAPL through Sequential In Situ Chemical Oxidation and Bioagumentation. 93.

La volatilità può essere valutata in termini di Tensione di vapore che, in funzione della temperatura, è la pressione esercitata, all'equilibrio, da un dato composto allo stato vapore sul suo liquido o solido, e di Costante di Henry, che può essere vista come un coefficiente di ripartizione aria-acqua.

Alti valori di questi due parametri sono associati a sostanze volatili.

È chiaro che ad una maggiore mobilità del contaminante è naturale associare una maggiore significatività dell'evento legato al rilascio dello stesso.

I valori dei parametri citati in questa sezione per molte delle sostanze con cui ci i trova spesso a lavorare sono riportati all'interno della banca dati ISS-INAIL[16], di cui si riporta uno stralcio in Figura 3.

SPECIE CHIMICA	Numero CAS	Peso Molecolare [g/mol]	Solubilità [mg/l]	Rif.	Volatilità	Punto Ebolliz. [°C]	Rif.	Pressione di vapore [mmHg]	Rif.	Costante di Henry [adim.]	Rif.	Koc o Kd [ml/g]	Rif.	log K_{ow} [adim.]	Rif.	Coeff. Diff. Aria [cm^2/sec]	Rif.	Coeff. Diff. Acqua [cm^2/sec]	Rif.	ABS [adim.]	Rif.	Stato fisico	Rif.
Microinquinanti inorganici																							
Antimonio	7440-36-0	121.75				1635	6					4.50E+01	1							0.01	2	s	2
Arsenico	7440-38-2	74.92				613 (subl)	16					f(pH)	[g]							0.03	1	s	2
Berillio	7440-41-7	9.01				2970	6					f(pH)	[g]							0.01	2	s	2
Cadmio	7440-43-9	112.41				767	6					f(pH)	[g]							0.001	1	s	2
Cianuri [a]	57-12-5	26.02	9.54E+04	1	V	26	6	2.81E+02	[f]	4.15E-03	1	9.90E+00	1			2.11E-01	1	2.46E-05	1	0.01	2	---	---
Cobalto	7440-48-4	58.93				2927	6					4.50E+01	1							0.01	2	s	2
Cromo totale	16065-83-1	52.00				2642	6					f(pH)	[g]							0.01	2	s	2
Cromo VI	18540-29-9	52.00				[d]	17					f(pH)	[g]							0.01	2	s	2
Cloruro di mercurio (e altri Sali del Mercurio) [b]	7487-94-7	271.50	6.90E+04	1		302	6			2.90E-08	6	f(pH)	[g]							0.01	[g]	l	2
Mercurio elementare [b]	7439-97-6	200.59	6.00E-02	1	V	356.7	6	2.60E-03	[f]	4.67E-01	1	[h]				3.07E-02	1	6.30E-06	1	0.01	2	l	2
Metilmercurio [b]	22967-92-6	215.63																		0.01	2	l	6
Nichel	7440-02-0	58.69				2730	6					f(pH)	[g]							0.01	2	s	2
Piombo	7439-92-1	207.20				1740	6					9.00E+02	1							0.01	2	s	2
Rame	7440-50-8	63.55				2595	6					3.50E+01	1							0.01	2	s	2
Selenio	7782-49-2	78.96				685	6					f(pH)	[g]							0.01	2	s	2
Tallio	7440-28-0	204.38				1473	6					f(pH)	[g]							0.1	2	s	2
Vanadio	7440-62-2	50.94				3407	6					1.00E+03	1							0.1	2	s	2
Zinco	7440-66-6	65.38				907	6					f(pH)	[g]							0.01	2	s	2
Aromatici																							
Benzene	71-43-2	78.11	1.79E+03	1	V	80.1	6	9.66E+01	[f]	2.27E-01	1	1.46E+02	1	2.13	1	8.95E-02	1	1.03E-05	1	0.1	[g]	l	2
Etilbenzene	100-41-4	106.17	1.69E+02	1	V	136.1	6	9.53E+00	[f]	3.22E-01	1	4.46E+02	1	3.15	1	6.85E-02	1	8.46E-06	1	0.1	[g]	l	2
Stirene	100-42-5	104.15	3.10E+02	1	V	145	6	6.22E+00	[f]	1.12E-01	1	4.46E+02	1	2.95	1	7.11E-02	1	8.78E-06	1	0.1	[g]	l	2
Toluene	108-88-3	92.14	5.26E+02	1	V	110.6	6	2.88E+01	[f]	2.71E-01	1	2.34E+02	1	2.73	1	7.78E-02	1	9.20E-06	1	0.1	[g]	l	2
m-Xilene	108-38-3	106.17	1.61E+02	1	V	139.1	6	8.27E+00	[f]	2.94E-01	1	3.75E+02	1	3.20	1	6.84E-02	1	8.44E-06	1	0.01	2	l	2
o-Xilene	95-47-6	106.17	1.78E+02	1	V	144.5	6	6.60E+00	[f]	2.12E-01	1	3.83E+02	1	3.12	1	6.89E-02	1	8.53E-06	1	0.01	2	l	2
p-Xilene	106-42-3	106.17	1.62E+02	1	V	138.23	6	8.00E+00	[f]	2.82E-01	1	3.75E+02	1	3.15	1	6.82E-02	1	8.42E-06	1	0.01	2	l	2
Xileni	1330-20-7	106.17	1.06E+02	1	V	137.2-140.5	6	3.93E+00	[f]	2.12E-01	1	3.83E+02	1	3.16	1	8.47E-02	1	9.90E-06	1	0.01	2	l	2

Figura 3: Stralcio banca dati ISS-INAIL, 2018

c) Tossicità.

La Tossicità è definita come la capacità di una sostanza di arrecare un danno alla vita di un organismo. Gli effetti negativi variano in funzione della sostanza e anche della dose cui l'organismo è esposto, per questo si conducono studi di:

- Tossicità acuta, volti a valutare gli effetti dovuti all'esposizione di breve durata a dosi abbastanza elevate della sostanza in esame;
- Tossicità cronica, che valutano gli effetti a lungo termine legati ad una esposizione prolungata a dosi anche basse. Gli studi sulla tossicità cronica portano alla distinzione tra sostanze cancerogene e sostanze non cancerogene.

L'International Agency for Research on Cancer (IARC) ha fornito una classificazione (riportata in Tabella 6) delle sostanze rispetto al loro livello cancerogeno per l'uomo.

Livello cancerogeno nell'uomo	Categoria	Descrizione
Cancerogeno	1	Nesso causale tra esposizione e insorgenza della patologia
Probabilmente cancerogeno	2A	Evidenza di cancerogenicità limitata negli uomini e sufficiente negli animali di laboratorio

[16] ISS-INAIL (2018), "Banca Dati ISS-INAIL per Analisi di Rischio Sanitario Ambientale" e documento di supporto.

Possibilmente cancerogeno	2B	Evidenza di cancerogenicità limitata negli uomini e negli animali di laboratorio
Non classificabile	3	Prove non sufficienti
Probabilmente non cancerogeno	4	Assenza di attività cancerogena

Tabella 6: Classificazione IARC[17]

Appare quasi scontato affermare che la significatività dell'evento è direttamente proporzionale alla tossicità del composto che risulta contaminare una determinata area.

3.2.5. Prossimità e tipologia di recettori esposti (rischio sanitario).

La significatività di un evento è necessariamente legata anche alla tipologia dei bersagli o recettori oggetto della contaminazione ed inoltre alla distanza, ovvero alla prossimità, di questi ultimi rispetto alla sorgente inquinante.

a) Tipologia di recettori esposti.

È necessario andare ad individuare la tipologia di recettori che potrebbero entrare a contatto o sono già entrati a contatto con l'evento di contaminazione. Similmente a quanto disposto dall'analisi di rischio[18], si potrebbe pensare a considerare l'esposizione, simultanea e non dei seguenti bersagli:

- Bambini;
- Adulti e bambini;
- Adulti;
- Lavoratori adulti (contesto industriale).

Anche in questo caso, è di semplice comprensione che la presenza bambini, elemento da tutelare e proteggere, potrebbe portare a definire con maggiore probabilità un evento come significativo. La sola presenza di adulti o lavoratori adulti, però, non è necessariamente legata ad una non significatività dell'evento, ma il peso di questi ultimi in un bilancio finale di tutti i parametri, sarà sicuramente minore.

In questa fase, oltre alla tipologia di recettori coinvolti, sarà necessario andare ad identificare le vie di esposizione dei recettori agli inquinanti e quindi le dosi assunte dalle persone che possono frequentare i punti di esposizione nel tempo. Al fine di stimare le dosi assunte, è essenziale andare a stabilire diversi parametri: frequenza di esposizione (giorni/anno; ore/giorno); durata di esposizione (anni); tassi di inalazione, ingestione o contatto; peso corporeo dei recettori.

b) Prossimità dei recettori.

Una volta identificati il tipo di recettori e le dosi assunte, è necessario definire la prossimità di questi ultimi rispetto all'evento di contaminazione. È chiaro che all'aumentare della distanza dal luogo della contaminazione, l'esposizione subisce una progressiva attenuazione

[17] IARC (2015). "Preamble". IARC Monographs (January 2006 ed., Last Update 2015)
[18] ISPRA (2008), Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati (Rev.2).

a causa dei processi di dispersione, diluizione e degradazione dell'inquinante; di conseguenza, diminuisce anche la possibilità che si configuri un evento significativo.

3.2.6. Presenza di aree protette, falde e corpi idrici superficiali.

La presenza di un evento di contaminazione all'interno o nelle vicinanze dei confini di aree protette (terrestri, fluviali, lacuali e marine), identificate sia a livello nazionale che regionale, è sicuramente uno dei fattori determinanti nel momento in cui si intende valutare la significatività un evento di contaminazione; questa, si capisce bene, dovrà crescere con il diminuire della distanza della sorgente dall'area stessa. Lo stesso si può dire per la prossimità dell'area interessata dall'evento a falde e/o a corpi idrici superficiali.

3.2.7. Evidenza rischi non accettabili.

Questa considerazione può essere svolta a valle, ad esempio, di un'analisi di rischio[19]. Qualora, al termine di questa, ci sia evidenza e certezza del rischio associato alla contaminazione, bisognerà procedere obbligatoriamente con attività di bonifica o messa in sicurezza. A quel punto, l'evento dovrà essere considerato con certezza e senza possibilità di ulteriori considerazioni come del tutto significativo.

4. Un possibile metodo di indagine per definire la «significatività».

Nel paragrafo precedente, abbiamo descritto i fattori che concorrono a definire la significatività di un evento di contaminazione; in questo, invece, ci poniamo come obiettivo quello di fornire un metodo da poter applicare per poter stimare il grado di significatività dell'evento stesso.

L'approccio proposto è di tipo quali-quantitativo, di facile interpretazione anche per il personale non prettamente tecnico.

Per ogni fattore descritto nel capitolo precedente, si definiranno delle classi cui verrà assegnato un punteggio. Al termine della procedura, quindi, si andranno ad aggregare i punteggi ottenuti secondo la formula (1) tenendo anche conto di fattori correttivi che considerino il "peso" di ogni parametro. Il valore dell'indice di significatività (I) ottenuto dovrà essere poi confrontato con quelli riportati in una tabella di screening (Tabella 17).

$$I = \alpha S + \beta N_S + \gamma E + \delta C + \varepsilon R + \theta \mathrm{A} \qquad (1)$$

In questo breve lavoro, sarà possibile rintracciare le basi del procedimento, poiché una sua implementazione potrà essere possibile solamente a valle di una concertazione con gli Enti competenti come il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE),, il Ministero della salute, il SNPA, l'ISPRA, l'ISS e l'INAIL, i quali avranno il compito di stabilire i punteggi e i pesi da assegnare ai parametri individuati nel capitolo precedente e, dunque, di validare l'algoritmo.

Quanto appena detto in breve verrà di seguito esposto in maniera più dettagliata per ognuno dei parametri evidenziati.

[19] ASTM (2000). Standard Guide for Risk-Based Corrective Action. Designation: E-2081-00.

4.1. Individuazione dei valori dei parametri.

4.1.1. Entità del superamento.

Come già detto, più la concentrazione rilevata (C_{ril}) si discosta dal limite normativo (C_{lim}), più la significatività dell'evento aumenta; dunque, si potrà introdurre un fattore S che consideri proprio questo elemento. In Tabella 7, si evidenziano le classi individuate.

Entità del superamento	***S***
$C_{lim} \leq C_{ril} < 5C_{lim}$	*da definire*
$5C_{lim} \leq C_{ril} < 10C_{lim}$	*da definire*
$10C_{lim} \leq C_{ril} < 100C_{lim}$	*da definire*
$100C_{lim} \leq C_{ril} < 1000C_{lim}$	*da definire*
$C_{ril} \geq 1000C_{lim}$	*da definire*

Tabella 7: Valori fattore S

4.1.2. Stabilità nel tempo.

All'aumentare del numero di superamenti rispetto alle misurazioni effettuate (N_S), deve necessariamente aumentare anche la significatività dell'evento. La persistenza e la frequenza dei superamenti assumono infatti un ruolo centrale nella valutazione dell'impatto, poiché l'entità del rischio è strettamente legata alla dose complessivamente assunta nel tempo e alla durata dell'esposizione: una condizione ripetuta o prolungata determina un carico maggiore per i recettori rispetto a un episodio isolato seppur importante rispetto al valore limite. In Tabella 8, si riassumono le classi proposte per il fattore N_S.

Percentuale di superamenti	$\boldsymbol{N_S}$
$\geq 10\%$	*da definire*
$\geq 50\%$	*da definire*
$\geq 95\%$	*da definire*

Tabella 8: Valori fattore N_S

4.1.3. Estensione della sorgente.

Il parametro che tiene conto dell'estensione della sorgente di contaminazione, definito in questo lavoro come E, assumerà un determinato valore in funzione delle classi riportate nella tabella che segue.

Estensione della sorgente	***E***
$\leq 0.2\ ha$	*da definire*
$0.2\ ha - 1\ ha$	*da definire*
$1\ ha - 10\ ha$	*da definire*
$\geq 10\ ha$	*da definire*

Tabella 9: Valori fattore E

4.1.4. Tipologia di contaminante.

Il fattore relativo al contaminante (C) deve tener conto di quelle che sono le caratteristiche già citate nel capitolo precedente: degradabilità (D), mobilità (M) e tossicità (T). La formula (2) è un esempio di come poter esprimere C in funzione di $D, M\ e\ T$.

$$C = \delta_1 D \cdot \delta_2 M \cdot \delta_3 T \quad (2)$$

È evidente, a questo punto, che per poter definire C, diventa fondamentale assegnare dei valori alle tre caratteristiche già più volte citate.

È logico attendersi che ad una maggiore significatività dell'evento si associ, per come la formula (1) è stata proposta, un valore di C elevato.

Nelle tabelle 10, 11 e 12 sono visibili le classi proposte per D, M *e* T. La degradabilità può essere stimata, ad esempio, in funzione del tempo di dimezzamento di ogni sostanza; per la mobilità, si può far riferimento al valore del Coefficiente di ripartizione suolo-acqua, K_d, o, per i composti organici, al Coefficiente di ripartizione carbonio organico-acqua, K_{OC}. Per la tossicità si può invece far riferimento alla classificazione IARC.

Degradabilità (tempo di dimezzamento $t_{1/2}$)	***D***
$< 15\ d$	*da definire*
$15\ d - 50\ d$	*da definire*
$50\ d - 150\ d$	*da definire*
$\geq 150\ d$	*da definire*

Tabella 10: Valori fattore D[20]

Mobilità contaminante (K_{OC})	***M***
$< 10^2\ ml/g$	*da definire*
$10^2\ ml/g - 10^3\ ml/g$	*da definire*
$10^3\ ml/g - 10^4\ ml/g$	*da definire*
$10^4\ ml/g - 10^5\ ml/g$	*da definire*
$\geq 10^5\ ml/g$	*da definire*

Tabella 11: Valori fattore M per composti organici

Tossicità contaminante (da classificazione IARC)	***T***
1	*da definire*
2A	*da definire*
2B	*da definire*
3	*da definire*
4	*da definire*

Tabella 12: Valori fattore T

4.1.5. Prossimità e tipologia di recettori.

In virtù di quanto detto precedentemente, il parametro R riferito ai recettori deve essere funzione della tipologia di recettori esposti (T_R) e della prossimità (P_R) di questi rispetto alla sorgente di contaminazione secondo la formula (3).

$$R = \varepsilon_1 T_R \cdot \varepsilon_2 P_R \quad (3)$$

Come per gli altri parametri, nelle tabelle che seguono si riportano le possibili classi da considerare.

[20] ARPA Veneto, 2013. Studio sulla dispersione di sostanze tossiche nella laguna di Venezia, Allegato 3: Cinetiche di biodegradazione in corpi idrici superficiali.

Tipologia di recettore	T_R
Lavoratore adulto	*da definire*
Adulto	*da definire*
Adulto e Bambino	*da definire*
Bambino	*da definire*

Tabella 13: Valori fattore T_R

Prossimità dei recettori	P_R
$< 10\ m$	*da definire*
$10\ m - 100\ m$	*da definire*
$100\ m - 500\ m$	*da definire*
$500\ m - 1000\ m$	*da definire*
$\geq 1000m$	*da definire*

Tabella 14: Valori fattore PR

4.1.6. Presenza di aree protette, falde e corpi idrici superficiali.

Il fattore A della formula (1) potrà essere espresso in funzione della presenza di Aree protette e/o di corpi idrici superficiali e della soggiacenza della falda attraverso la seguente formula

$$A = \theta_1 A_P \cdot \theta_2 A_S \cdot \theta_3 A_F \tag{4}$$

Nell'ipotesi in cui si considerino l'area protetta e il corpo idrico superficiale come dei possibili recettori, i fattori A_P e A_S potranno stabilirsi in funzione delle classi di cui alla Tabella 15.

Distanza da aree protette e corpo idrico superficiale	A_P; A_S
$< 10\ m$	*da definire*
$10\ m - 100\ m$	*da definire*
$100\ m - 500\ m$	*da definire*
$500\ m - 1000\ m$	*da definire*
$\geq 1000\ m$	*da definire*

Tabella 15: Valori fattore AP e AS

In Tabella 16, invece, si riportano le classi individuate in funzione della soggiacenza della falda.

Distanza verticale dalla falda	A_F
$< 3\ m$	*da definire*
$3\ m - 10\ m$	*da definire*
$10\ m - 50\ m$	*da definire*
$\geq 50\ m$	*da definire*

Tabella 16: Valore fattore AF

4.1.7. Matrice di screening finale.

Una volta valutati tutti i parametri e i rispettivi pesi, si passa al calcolo dell'indice I, il cui valore dovrà essere confrontato con quelli presenti nella matrice di screening, al fine di valutare la significatività dell'evento in esame.

Di seguito, si riporta una ipotetica matrice di riferimento.

Significatività	***I***
Non significativo	*da A a B*
Poco significativo	*da B a C*
Significativo	*da C a D*
Molto significativo	*da D ad E*

Tabella 17: Matrice di screening (A, B, C e D sono i valori ottenuti alla fine della procedura di calcolo)

MASI A., NAPOLETANO E., VERGINELLI I. *«Significatività» e «misurabilità» dell'inquinamento ambientale: un approccio oggettivo per recuperare determinatezza della fattispecie penale,* in *Riv. Trim. dir. amb.*, 04/2025, p. 123