Protocollo di qualificazione ambientale — IPA nelle foglie bioindicatrici

Scheda tecnica di lavoro • Versione 1.0 • 9 novembre 2026 • Soglie proposte, da validare sul campo

1. Finalità e principio metodologico

Utilizzare foglie di specie arboree diffuse nel territorio, con priorità esplorativa per Robinia pseudoacacia, come bioindicatori delle deposizioni e della presenza ambientale di idrocarburi policiclici aromatici (IPA). L'obiettivo non è attestare la conformità alimentare della foglia, ma identificare pressioni antropiche significative e confrontare territori in maniera riproducibile.

Le soglie TDE sono criteri volontari e convenzionali di qualificazione ambientale: non costituiscono limiti legislativi per foglie di robinia, né valori tossicologici validati. Il giudizio territoriale deriva dalla valutazione integrata di matrici e contesto locale.

2. Soglie provvisorie proposte — foglie su sostanza secca

Indicatore	Qualifica diretta TDE	Valutazione integrata	Esclusione TDE
Benzo(a)pirene (BaP)	X < 2 µg/kg s.s.	2 ≤ X ≤ 4 µg/kg s.s.	X > 4 µg/kg s.s.
Somma IPA4 (PAH4)	X < 10 µg/kg s.s.	10 ≤ X ≤ 40 µg/kg s.s.	X > 40 µg/kg s.s.

La classe finale è determinata dall'indicatore più restrittivo. Una sola eccedenza della soglia di esclusione comporta esito "fuori" per il criterio IPA fogliare; la presenza nella fascia intermedia richiede confronto con altri bioindicatori e matrici disponibili. I valori esattamente uguali ai limiti di fascia (2, 4, 10, 40) ricadono nella valutazione integrata.

IPA4 = benzo(a)pirene + benzo(a)antracene + benzo(b)fluorantene + crisene. Per la somma si adotta il criterio lower bound: valori inferiori al limite di quantificazione (LOQ) conteggiati come zero. Il laboratorio deve dichiarare per ciascuna sostanza LOQ e recuperi sulla matrice fogliare secca.

3. Raffronto con la disciplina UE sugli alimenti

Categoria alimentare (Reg. UE 2023/915, allegato I, § 5.1)	BaP (µg/kg)	IPA4 (µg/kg)
Chips di banana	2	20
Alimenti vegetali in polvere per preparare bevande	10	50
Erbe essiccate (prodotto immesso sul mercato)	10	50
Oli e grassi (salvo eccezioni)	2	10

La soglia di accesso TDE equivale al 20% dei limiti UE per erbe essiccate per entrambi gli indicatori. Le soglie di esclusione equivalgono rispettivamente al 40% (BaP) e all'80% (IPA4). Questo raffronto è puramente convenzionale: le erbe essiccate alimentari e le

foglie campionate per biomonitoraggio hanno modalità di esposizione e trattamento differenti.

4. Evidenze bibliografiche sui vegetali

Studio / matrice	Risultato pubblicato	Base e limiti di confronto
Capozzi et al. (2017), foglie di robinia e muschi, Campania	20 IPA ricercati; la robinia intercetta IPA leggeri e pesanti	Le tabelle numeriche dei singoli IPA nella robinia non sono state verificate; non si inventano valori.
Yang et al. (2024), foglie di robinia presso strada urbana, Pechino	Σ31 IPA = 65,9 µg/kg (65,9 ng/g)	Somma di 31 composti; non equivale a IPA4; la base ponderale va verificata prima di confronti TDE.
Studio portoghese (2011), aghi di Pinus pinaster	Σ16 IPA = 96 ± 30 µg/kg in siti remoti; 866 ± 304 in siti industriali	Peso secco; aghi esposti per 1–3 anni, non confrontabili direttamente con foglie annuali.
Rassegna scientifica 2024 su biomonitoraggio vegetale	Riporta intervalli di BaP nei bioindicatori e forti differenze per specie e contesto	Dati secondari eterogenei: utili per ordini di grandezza, non per calibrazione diretta della robinia.

L’esempio della robinia di Pechino mostra che la somma di numerosi IPA può risultare apprezzabile senza documentare automaticamente un superamento della somma IPA4. I dati su aghi di pino mostrano un gradiente remoto–industriale, ma l’età del tessuto e la diversa capacità di accumulo impongono prudenza.

5. Indicazioni per il monitoraggio sperimentale

• Matrice preferenziale: foglie di Robinia pseudoacacia non lavate, con identificazione botanica e campionamento omogeneo per altezza, esposizione, età fogliare e stagione.

• Espressione dei risultati in µg/kg di sostanza secca; essiccazione/condizionamento con procedure che minimizzino contaminazioni e perdite degli IPA più volatili; determinare l’umidità.

• Determinare individualmente almeno i quattro IPA4; utile anche il profilo EPA16 per riconoscimento di possibili sorgenti, senza applicare per ora una soglia di esclusione alla somma EPA16.

• Predisporre bianco procedurale, campioni replicati e sito di riferimento a bassa pressione antropica; registrare incendi recenti, traffico, impianti a combustione e condizioni meteorologiche.

• Nella fascia intermedia considerare gli altri elementi disponibili (suoli, muschi, api, acque e mappatura delle sorgenti), senza imporre automaticamente tutte le matrici.

• Prevedere revisione delle soglie dopo la campagna pilota su siti a pressione antropica differenziata, prima dell’adozione definitiva.

6. Bibliografia e riferimenti

Unione europea (2023). Regolamento (UE) 2023/915 della Commissione del 25 aprile 2023, allegato I, punto 5.1, IPA. Testo ufficiale in italiano.
https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/915/oj/ita

Capozzi, F.; Di Palma, A.; Adamo, P.; Spagnuolo, V.; Giordano, S. (2017). Monitoring chronic and acute PAH atmospheric pollution using transplants of the moss Hypnum cupressiforme and Robinia pseudacacia leaves. Atmospheric Environment, 150, 45–54. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.11.046. Scheda archivio: https://iris.unicampania.it/handle/11591/463070

Yang, M.; Liu, Q.; Tian, S.; Yang, Z.; Yang, Y.; Shao, P.; Liu, Y. (2024). Occurrences of Deposited Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Wax of Plant Leaves Using Laser Scanning Microscopy and Gas Chromatography–Mass Spectrometry. Atmosphere, 15(10), 1165. DOI: 10.3390/atmos15101165. Materiali supplementari Table S1 disponibili dalla pagina editore.

Study of geographical trends of polycyclic aromatic hydrocarbons using pine needles (2011). Atmospheric Environment, 45(33), 5988–5996. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.07.058. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231011008028

Environmental contamination with polycyclic aromatic hydrocarbons and contribution from biomonitoring studies to the surveillance of global health (2024). Environmental Science and Pollution Research. DOI: 10.1007/s11356-024-34727-3. https://doi.org/10.1007/s11356-024-34727-3

7. Stato della decisione

Le soglie BaP <2 / 2–4 / >4 e IPA4 <10 / 10–40 / >40 µg/kg s.s. costituiscono l’criterio operativo provvisorio per la matrice fogliare. Sono da sottoporre a sperimentazione comparativa e revisione motivata. Non implicano assenza assoluta di IPA né, da sole, certificazione del territorio TDE.