Documento tecnico di riferimento • 9 novembre 2026 • Valutazione scientifica preliminare

Obiettivo: individuare quali analisi sulle foglie della vegetazione locale siano scientificamente documentate e utili come integrazione o alternativa al biomonitoraggio con muschi. La matrice NON costituisce un piano di campionamento e NON introduce nuove determinazioni obbligatorie.

1. Matrice di evidenza e idoneità preliminare

D = evidenza diretta su quella specie o gruppo molto vicino; P = possibile ma non adeguatamente documentato per decisioni TDE; — = non proposto. La sigla D non implica comparabilità numerica tra specie, validazione del laboratorio o esistenza di soglie ambientali.

Parametro	Querce decidue	Leccio	Faggio	Nocciolo	Castagno	Pioppo	Salice	Erbacee spontanee	Robinia
Metalli	P	D	P	P	P	P	P	P	P
Diossine e furani	P	P	P	—	—	P	P	P	P
PCB-DL	P	P	P	—	—	P	P	P	P
PCB non-DL	P	P	P	P	P	D	P	P	P
Pesticidi storici	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Pesticidi attuali	P	P	P	P	P	P	P	D	P
PFAS	P	P	P	P	P	D	D	D	P
IPA	P	D	D	P	P	D	P	P	D
BTEX / COV	—	—	—	—	—	—	—	—	—
AOX	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Acido fosfonico	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Ditiocarbammati	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Nota metodologica: per “quercia decidua” non si trasferiscono automaticamente i dati di Quercus ilex, specie sempreverde. Per “erbacee” le evidenze dipendono dalle specie effettivamente studiate. Il segno P indica soprattutto una pista di ricerca, non un giudizio favorevole definitivo.

2. Considerazioni sulle specie

Leccio (Quercus ilex) — Evidenza diretta solida per IPA in Italia; nello studio di Alfani et al. (2001) circa 106,6 µg/kg s.s. nel sito di controllo e 4.607,5 µg/kg s.s. presso strada molto trafficata. Specie sempreverde: il periodo di accumulo differisce dalle latifoglie decidue.

Robinia (Robinia pseudoacacia) — Evidenza diretta (D) per IPA nelle foglie: Capozzi et al. (2017) hanno impiegato foglie di robinia e muschi per il biomonitoraggio atmosferico. Yang et al. (2024) hanno inoltre misurato IPA associati alle cere fogliari di robinia in ambiente urbano. Per gli altri contaminanti si indica soltanto P (possibilità da valutare), senza attribuire validazione specie-specifica. Le foglie di robinia sono quindi candidate prioritarie, non l’unica specie ammissibile.

Faggio (Fagus sylvatica) — Documentato nel confronto tedesco di Dreyer et al. (2018) con muschi per IPA. Interessante nell’Appennino montano; un singolo risultato fogliare non equivale quantitativamente al muschio.

Pioppo (Populus spp.) — Documentazione diretta per PFAS (Populus nigra) e confronti con muschi per IPA; ulteriori studi sui PCB. La posizione ripariale e la disponibilità d’acqua condizionano l’esposizione.

Salice (Salix spp.) — Documentazione diretta per PFAS, con forti differenze rispetto a pioppo e ontano nel sito tedesco studiato; specie idroesigente, da non assumere come riferimento universale dei terreni coltivati.

Nocciolo e castagno — Elevata pertinenza territoriale; al momento mancano serie di riferimento sufficientemente solide per confrontare più contaminanti nelle foglie. Possibilità analitica non equivale a interpretabilità del risultato.

Querce decidue — Specie potenzialmente molto rappresentative dei versanti agricoli; serve bibliografia specie-specifica. Non confondere con il leccio.

Erbacee spontanee — Potenzialmente adatte a pesticidi attuali e PFAS; elevata eterogeneità botanica. Il lavoro di Verona analizza foglie di vegetazione decidua in giardini, non valida indistintamente tutte le erbacee.

3. Valutazioni per gruppo di contaminanti

Metalli: Già previsti in suolo e muschi. Non aggiungerli ordinariamente alle foglie salvo lacune da valutare dopo aver completato il quadro delle matrici.

Diossine/furani e PCB-DL: Possibile analisi fogliare sostitutiva quando mancano i muschi, ma i composti fortemente lipofili possono essere trattenuti meno efficacemente dalle foglie decidue. Verificare LOQ, congeneri e trattamento dei risultati; non trasferire soglie del suolo o TEQ alimentari.

PCB non-DL: Vi sono evidenze su foglie come bioindicatori atmosferici (es. platano in Francia) e su pioppi. Da esaminare la congruenza con i sei congeneri indicatori e la disponibilità di fondo per la specie.

Pesticidi storici e attuali: Evidenze di residui su vegetazione fogliare anche presso campi agricoli (Verona). Evitare inferenze automatiche su specie o sostanze non comprese nei pannelli dei lavori citati. I ditiocarbammati sono stati esclusi dal monitoraggio ordinario TDE per le limitazioni di persistenza e interpretazione; l’acido fosfonico resta previsto con determinazione dedicata.

IPA: Evidenze dirette per leccio e confronti muschi/faggio/pioppo; risultati di specie diverse non sono quantitativamente intercambiabili. Mantenere pannello e unità omogenei nei confronti.

PFAS: Già approvati per vegetali sentinella. Il confronto tedesco salice/pioppo/ontano mostra variabilità dovuta a specie, ambiente idrico e distribuzione spaziale; necessaria valutazione integrata con acque e lombrichi.

Acido fosfonico: Già previsto. Il progetto BIOFOSF documenta possibili residui persistenti nelle piante legnose e traslocazione verso foglie e frutti; una positività fogliare non prova deriva recente.

BTEX/COV e AOX: Esclusi dal monitoraggio ordinario TDE; eventuali approfondimenti soltanto in presenza di sorgenti o criticità specifiche.

4. Impostazione operativa

- Preferire vegetali spontanei rappresentativi dell’area; nessun orto sentinella da allestire.
- Mantenere PFAS e acido fosfonico come parametri già previsti; altri gruppi restano proposte condizionate alla disponibilità dei muschi.
- Se i muschi mancano, verificare la copertura dei contaminanti organici nelle foglie, senza presumerne equivalenza analitica o ambientale.
- Integrare risultati fogliari con suolo, lombrichi, acque e gli altri bioindicatori disponibili. Le deposizioni atmosferiche sono escluse dal protocollo ordinario TDE.
- Non trasferire indiscriminatamente soglie tra specie e matrici: per pesticidi e IPA fogliari sono già state approvate soglie TDE specifiche, provvisorie e da validare sul campo; per i PFAS fogliari resta la valutazione integrata senza soglia universale. Per acido fosfonico è previsto un valore guida provvisorio di 0,25 mg/kg, non una soglia generale di esclusione.
- Campionamenti, requisiti LOQ e dettagli analitici devono essere specificati nei protocolli operativi pertinenti.

5. Bibliografia verificata e rilevanza

1. Dreyer A., Nickel S., Schröder W. (2018). (Persistent) Organic pollutants in Germany: results from a pilot study within the 2015 moss survey. Environmental Sciences Europe 30, 43.
https://doi.org/10.1186/s12302-018-0172-y
Utilità TDE: Confronto diretto muschi e foglie (faggio e pioppo) per IPA; misure di PCDD/F e PCB soprattutto nei muschi.

2. Alfani A., Maisto G., Prati M.V., Baldantoni D. (2001). Leaves of Quercus ilex L. as biomonitors of PAHs in the air of Naples (Italy). Atmospheric Environment 35, 3553–3559.
https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00087-5
Utilità TDE: IPA nel leccio: confronto siti remoti e urbani, dati numerici.

3. Granier L., Chevreuil M. (1992). On the use of tree leaves as bioindicators of the contamination of air by organochlorines in France. Water, Air, and Soil Pollution 64, 575–584.
https://doi.org/10.1007/BF00483367
Utilità TDE: PCB e lindano su foglie di platano; variabilità e differenze territoriali.

4. Beghini G., Danieli G., Marcolungo C., Lauriola P., Caobelli R., Biggeri A. (2025). From fields to gardens: Pesticide contamination in residential areas. A participatory study in Verona (Veneto Region, Italy), 2021–2022. Epidemiologia & Prevenzione 49(5–6), 404–414.

https://doi.org/10.19191/EP25.5-6.A901.091
Utilità TDE: Pesticidi nelle foglie presso aree agricole italiane.

5. Phytoscreening for Per- and Polyfluoroalkyl Substances at a Contaminated Site in Germany (2023). Environmental Science & Technology.
https://doi.org/10.1021/acs.est.2c04519
Utilità TDE: PFAS in foglie di salice bianco, pioppo nero e ontano nero.

6. Trinchera A. et al. (2020). Assessing the Origin of Phosphonic Acid Residues in Organic Vegetable and Fruit Crops: The Biofosf Project Multi-Actor Approach. Agronomy 10(3), 421.
https://doi.org/10.3390/agronomy10030421
Utilità TDE: Acido fosfonico: residui, persistenza e traslocazione in colture arboree.

7. Manghi M.C. et al. (2021). The use of phosphonates in agriculture. Chemical, biological properties and legislative issues. Chemosphere 283, 131187.
https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131187
Utilità TDE: Quadro chimico, agronomico e regolatorio dei fosfonati.

8. Leaf uptake of atmospheric monocyclic aromatic hydrocarbons depends on plant species and compounds (2022). Ecotoxicology and Environmental Safety 236, 113433.
https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113433
Utilità TDE: Cautela nell'utilizzo delle foglie per benzene e toluene.

9. Müller G. (2003). Sense or no-sense of the sum parameter for water soluble adsorbable organic halogens (AOX) and absorbed organic halogens (AOX-S18) for the assessment of organohalogens in sludges and sediments. Chemosphere 52, 371–379.
https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00215-7
Utilità TDE: Limiti concettuali del parametro AOX; non validazione specifica sulle foglie.

10. 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 pseudoacacia leaves. Atmospheric Environment 150, 45–54. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.11.046. Utilità TDE: evidenza diretta per IPA nelle foglie di robinia.

11. Yang et al. (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. https://doi.org/10.3390/atmos15101165. Utilità TDE: IPA in foglie di robinia e altre specie arboree; confronti quantitativi da fare soltanto a parità di matrice e unità.

6. Limiti della presente ricognizione

La matrice sintetizza la letteratura selezionata, non una revisione sistematica esaustiva. Una D indica uno studio utilizzabile come punto di partenza, non una validazione quantitativa per TDE. Per diossine/furani e PCB-DL nelle foglie decidue la base è tuttora da consolidare; non sono qui riportati intervalli di fondo specie-specifici. Non sono stati assunti come verificati tutti i riferimenti comparsi nelle discussioni preliminari quando la relativa scheda bibliografica non risultava confermata. Aggiornamento del 9 novembre 2026: aggiunta Robinia pseudoacacia, con D soltanto per IPA; esclusi dal monitoraggio ordinario anche i ditiocarbammati.

Nota di lettura della matrice. D = prova pubblicata su specie o gruppo pertinente; P = uso possibile ma da verificare; — = non previsto. La lettera non sostituisce il giudizio integrato TDE.