

Metodi analitici moderni per tracciare gli esplosivi nell'ambiente

I composti esplosivi rappresentano un importante gruppo di inquinanti ambientali introdotti negli ecosistemi principalmente attraverso attività militari, produzione, stoccaggio o smaltimento di munizioni. La loro presenza nel suolo e nell'acqua comporta rischi significativi sia per gli ecosistemi che per la salute umana. Alcuni composti, come l'esogeno (RDX) e il 2,4-dinitrotoluene (2,4-DNT), sono addirittura classificati come potenziali agenti cancerogeni. Di conseguenza, il monitoraggio, la determinazione analitica e l'elaborazione di strategie per l'efficace rimozione degli esplosivi e dei loro residui dall'ambiente sono fondamentali per ridurre al minimo i rischi associati in modo efficiente.



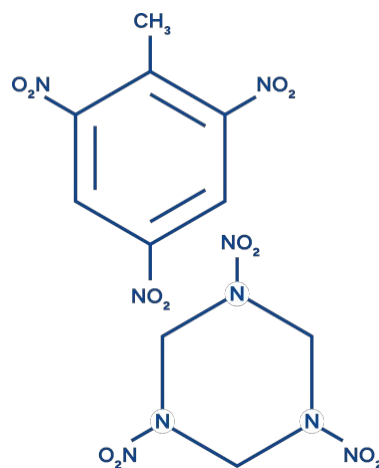
Figura 1: Immagine illustrativa

Esplosivi nell'ambiente

Nel 2025, il laboratorio ALS ha ampliato il proprio portafoglio analitico includendo metodi accreditati per la determinazione di esplosivi e composti correlati nell'acqua e nel suolo. Queste procedure si basano su standard riconosciuti a livello internazionale quali US EPA 8330B, EN ISO 22478 e ISO 11916-1.

È fondamentale sviluppare strategie efficaci per rilevare e bonificare la contaminazione da esplosivi nei campioni ambientali, in particolare nelle regioni oggetto di test, poiché i metodi attuali si basano su dati limitati relativi agli esplosivi e al loro impatto ambientale. I composti esplosivi comunemente utilizzati, come i nitroaromatici e le nitramine, presentano un rischio relativamente elevato di contaminazione ambientale, mentre le nitramine sono altamente mobili. Nonostante la loro reattività, queste sostanze sono relativamente stabili in natura in condizioni normali. Il TNT, ad esempio, può persistere nel suolo per decenni, in particolare in aree con accesso limitato all'ossigeno e bassa attività microbica. Un esempio significativo di contaminazione a lungo termine è l'area di Kolberger Heide nel Mar Baltico, dove dopo la Seconda guerra mondiale sono state scaricate grandi quantità di munizioni.

Uno studio del 2025 ha confermato la presenza di metaboliti del TNT nelle urine e nella bile dei pesci, indicando il bioaccumulo di sostanze esplosive negli organismi marini e la loro persistenza nell'ambiente per oltre otto decenni.



Analisi degli esplosivi

L'implementazione di metodi analitici accurati consente l'identificazione e la quantificazione di un'ampia gamma di sostanze esplosive, compresi i loro prodotti di degradazione, gli antiossidanti e i propellenti. L'introduzione di tali metodi riflette la **crescente necessità di monitorare questi contaminanti provenienti da fonti sia civili che militari.**

L'Agenzia per la protezione dell'ambiente degli Stati Uniti (EPA) utilizza il metodo 8330B (SW-846) per l'analisi di nitroaromatici, nitramine ed esteri nitrati mediante HPLC, un metodo standardizzato che garantisce risultati analitici precisi.

In ALS, la manipolazione e la preparazione dei campioni avvengono secondo le procedure previste dalle norme applicabili e le analisi vengono condotte su sistemi HPLC-DAD all'avanguardia di ultima generazione. Ogni risultato positivo viene inizialmente verificato sulla base della corrispondenza spettrale e successivamente confermato utilizzando una fase stazionaria alternativa della colonna cromatografica. Questo approccio garantisce un'elevata affidabilità dei dati misurati.

Tabella 1: Elenco degli analiti target per la loro determinazione in acqua e suolo.

ANALITA	Abbr.	CAS	LOR SUOLO (mg/kg)	LOR ACQUA (µg/L)
Ottidro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocina	HMX / Oktogen	2691-41-0	0,2	0,4
Esahidro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazina	RDX / Esogeno	121-82-4	0,2	0,4
1,3,5-trinitrobenzene	1,3,5-TNB	99-35-4	0,2	0,4
1,3 - Dinitrobenzene	1,3-DNB	99-65-0	0,2	0,4
Metil-2,4,6-trinitrofenil-nitrammina	Tetryl / CE	479-45-8	0,2	0,4
Nitrobenzene	NB	98-95-3	0,2	0,4
2,4,6-trinitrotoluene	2,4,6-TNT	118-96-7	0,2	0,4
4-Amino-2,6-dinitrotoluene	4-Am-DNT	19406-51-0	0,2	0,4
2-Amino-4,6-dinitrotoluene	2-Am-DNT	35572-78-2	0,2	0,4
2,4-dinitrotoluene	2,4-DNT	121-14-2	0,2	0,4
2,6-dinitrotoluene	2,6-DNT	606-20-2	0,2	0,4
2-nitrotoluene	2-NT	88-72-2	0,2	0,4
3-nitrotoluene	3-NT	99-08-1	0,2	0,4
4-nitrotoluene	4-NT	99-99-0	0,2	0,4
Nitroglicerina / Trinitrato glicerolo	NG	55-63-0	1	1
Tetranitrato pentaeritritolo	di PETN	78-11-5	1	1
3,5 - Dinitroanilina	3,5 - DNA	618-87-1	0,2	0,4
Difenilammina	DPA / Dpha	122-39-4	0,2	0,4
N-nitrosodifenilammina	NDPhA	86-30-6	0,2	0,4

Figura 2: Contenitore in polipropilene per il campionamento di terreno solido.



Requisiti del campione:

Acqua: idealmente 2 L di campione privo di sedimenti, campionatore in vetro scuro
Suolo: idealmente 200 g di campione, contenitore in plastica (sacchetto/tazza - Fig. 4) **Nota sul contenitore di campionamento:** i campioni di acqua devono essere raccolti e trasportati ESCLUSIVAMENTE in bottiglie di vetro scuro per prevenire la potenziale fotodegradazione degli analiti target causata dall'esposizione alla luce dovuta alla trasparenza dell'acqua. I campioni di suolo non richiedono tale protezione in quanto non sono soggetti a un effetto simile.

Primo test sperimentale

I primi risultati del laboratorio ALS indicano potenziali rilevamenti positivi di esogeno (RDX) nei campioni analizzati, con concentrazioni nei campioni acquosi che raggiungono decine di µg/L e nei campioni di terreno che mostrano valori nell'ordine di mg/kg a una cifra (del campione originale). Sebbene attualmente non esistano requisiti legislativi per il monitoraggio sistematico delle sostanze esplosive nell'ambiente, una maggiore consapevolezza e comprensione di queste sostanze stanno portando a cambiamenti legislativi.

Ad esempio, nel 2020 il Canada ha reso obbligatorio il monitoraggio dell'esogeno (RDX) nelle acque utilizzate per la produzione di acqua potabile, fissando un limite di 100 µg/L a seguito del rilevamento di RDX nelle acque superficiali e sotterranee in prossimità delle basi militari.

L'implementazione di nuovi metodi accreditati secondo gli standard internazionali rappresenta un passo fondamentale verso un monitoraggio efficace delle sostanze esplosive nell'ambiente. I risultati confermano la presenza di questi inquinanti nel suolo e nelle acque e sottolineano la necessità di un loro monitoraggio sistematico. I dati ottenuti sono essenziali non solo per valutare i rischi ambientali, ma anche per progettare misure di bonifica adeguate.

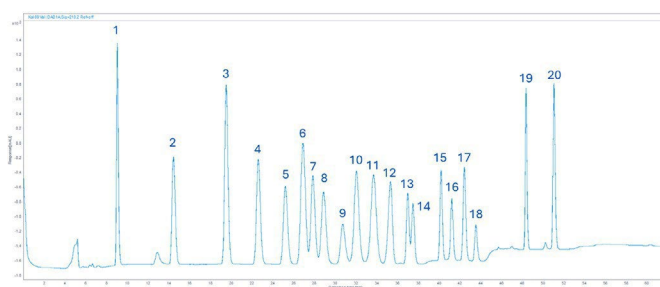


Figura 3: Esempio di cromatogramma degli analiti: (10 µg/ml standard misto):

(1) HMX; (2) RDX; (3) 1,3,5-trinitrobenzene; (4) 1,2-dinitrobenzene; (5) 1,3-dinitrobenzene; (6) 3,5-dinitroanilina; (7) tetryle; (8) nitrobenzene; (9) Nitroglicerina; (10) 2,4,6-trinitrotoluene; (11) 4-ammino-2,6-Dinitrotoluene; (12) 2-Amino-4,6-Dinitrotoluene; (13) 2,6-Dinitrotoluene; (14) 2,4-dinitrotoluene; (15) 2-nitrotoluene; (16) 4-nitrotoluene; (17) 3-nitrotoluene; (18) PETN; (19) N-nitrosodifenilammina; (20) Difenilammina.

Tempo di analisi (TAT):

I risultati della determinazione degli esplosivi saranno consegnati entro **10-14 giorni** a seconda del tipo di matrice.

Analisi espressa: **NON** possibile a causa dell'elaborazione del campione.

CONTATTI

ALS Italia: commerciale.zpp@alsglobal.com

www.alsglobal.com