

NUOVI ORIZZONTI PER IL RECUPERO SOSTENIBILE DEI FANGHI BIOLOGICI IN AGRICOLTURA
9 MAGGIO 2025 Palazzo Lombardia, Sala Belvedere «Silvio Berlusconi», Piazza Città di Lombardia, Milano

Campagna di monitoraggio sulla presenza di inquinanti organici in fanghi e nei prodotti derivati utilizzati in agricoltura

Claudio Minero



UNIVERSITÀ
DI TORINO

Dipartimento di
Chimica



EFAR aderisce al Protocollo Lombardo
per lo Sviluppo Sostenibile



Sostenibilità
in Lombardia



Regione
Lombardia



1

outline

- **Motivazioni della campagna**
- **Campioni**
- **Inquinanti determinati**
- **Concentrazioni misurate**
- **Confronto con dati disponibili su fanghi**



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



Sostenibilità
in Lombardia



Regione
Lombardia

2

JRC 2022 risk model

Huygens et al., 2022
Screening risk assessment of organic pollutants
and environmental impacts from sewage sludge
management, JRC129690
Publications Office of the European Union,
ISBN 978-92-76-57322-7, DOI 10.2760/541579

- **“I risultati della modellizzazione mostrano che un insieme relativamente piccolo di inquinanti può causare rischi significativi sia per gli esseri umani che per gli organismi del suolo, se presenti a livelli di concentrazione tipicamente documentati per i fanghi di depurazione”**
 - **“Polychlorinated dibenzofuran and dioxins, PAH, long-chain PFAS, short and mid-chain polychlorinated paraffins, and to a lesser extent, alkylphenols, polychlorinated naphthalenes and phthalate acid esters are identified as priority pollutants.”**
 - **“Il trattamento minimo (limited) ha generalmente una prestazione ambientale migliore rispetto all’incenerimento e allo smaltimento in discarica dei fanghi, ma potrebbe non essere pienamente efficace nel ridurre i carichi inquinanti, soprattutto quando elevate quantità di fanghi vengono sparse in modo intensivo su un’area agricola limitata”**



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



Sostenibilità
in Lombardia



Regione
Lombardia

3

Confronto dei dati precedenti per analisi di rischio

- **“Progetto per una campagna di controllo straordinario sul recupero agronomico dei rifiuti (R10) a seguito di accordo con le imprese operanti nel settore” Progetto Provincia di Pavia**
 - <https://www.provincia.pv.it/it/news/1361736>
 - 11 aziende site sul territorio della provincia di Pavia coinvolte;
 - 11 campioni di fanghi trattati pronti per l’utilizzo agricolo campionati da funzionari della Provincia di Pavia, campionati **a sorpresa**;
 - studio condotto in **doppio cieco**
- **Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)**
 - risultati progetto vs input assunto in rapporto JRC
- **PCDD/F e PCB diossina-simili**
 - risultati progetto vs input assunto in rapporto JRC
- **Alchilfenoli**
 - risultati progetto vs input assunto in rapporto JRC
- **Esteri dell’acido ftalico**
 - risultati progetto vs input assunto in rapporto JRC

LA REVISIONE DELLA DIRETTIVA EUROPEA
SUL RECUPERO DEI FANGHI IN AGRICOLTURA

Non esiste sostenibilità senza ricerca

24 OTTOBRE 2023, 9:00 - 13:00

PALAZZO DELLE STELLINE
SALA PORTA, CORSO MAGENTA 61, MILANO



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



Sostenibilità
in Lombardia



Regione
Lombardia

4

Motivazione della campagna di misure

- **i dati analitici prodotti dal Progetto Provincia di Pavia hanno una intrinseca grande robustezza ed affidabilità**
 - **Autoconsistenza**
 - **Ragionevole errore (campioni diversi, laboratori diversi)**
- **le concentrazioni considerate per l'analisi di rischio secondo lo studio del JRC sono anche maggiori di un ordine di grandezza o più rispetto a quelle riscontrate nel progetto Provincia di Pavia**
 - **Questo comporta una sovrastima del rischio**
 - **la valutazione del rischio, qualunque sia la modellizzazione adottata, richiede dati di input che devono essere realistici e verificabili**
- **ESTENSIONE DELLE CATEGORIE DI INQUINANTI**

LA REVISIONE DELLA DIRETTIVA EUROPEA
SUL RECUPERO DEI FANGHI IN AGRICOLTURA

Non esiste sostenibilità senza ricerca

24 OTTOBRE 2023, 9:00 - 13:00

PALAZZO DELLE STELLINE
SALA PORTA, CORSO MAGENTA 61, MILANO



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



5

Classi di analiti

- **IPA**
- **Alchilfenoli**
- **Ftalati**
- **Diossine e Furani**
- **PCB dioxin-like**
- **PCB (altri)**
- **Cloroalcani**
- **Composti Perfluorurati**
- **Fluorotelomeri**
- **Composti Emergenti**



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



6

IPA: analiti considerati

ANT	Antracene
BAA	Benzo[a]antracene
BAP	Benzo[a]pirene
BBF	Benzo[b+j]fluorantene
BKF	Benzo[k]fluorantene
BPE	Benzo[g,h,i]perilene
CRI	Crisene
DBEP	Dibenzo[a,e]pirene
DBLP	Dibenzo[a,l]pirene
DBIP	Dibenzo[a,i]pirene
DBHP	Dibenzo[a,h]pirene
DBAN	Dibenzo[a,h]antracene
INP	Indeno[1.2.3-cd]pirene
PY	Pirene
ACE	Acenaftene
FEN	Fenantrene
FLU	Fluorene
FLUT	Fluorantene
BEPY	Benzo[e]pirene



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia

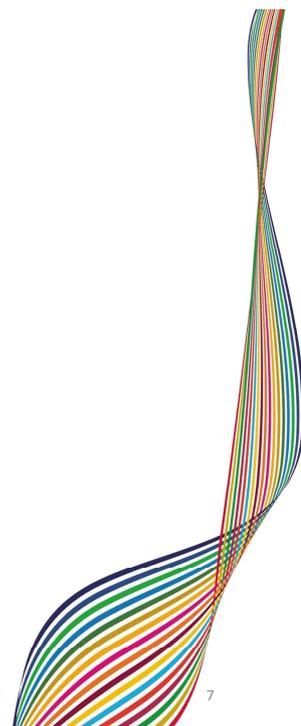


Sostenibilità
in Lombardia



Regione
Lombardia

7



ALCHILFENOLI E FTALATI: analiti considerati

NPE1	4-n-nonilfenolo-mono-etossilato(singolo composto)
NPMIX	4-nonilfenolo(mix isomeri)
NPE2	4-nonilfenolo-di-etossilato(mix isomeri)
NPH1	4-nonilfenolo[(p-nonilfenolo, singolo composto)]
OPH	4-terz ottilfenolo
<hr/>	
DEHP	Bis 2 etilesiftalato (DEHP)
DINP	Diisonilftalato (DINP)



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia

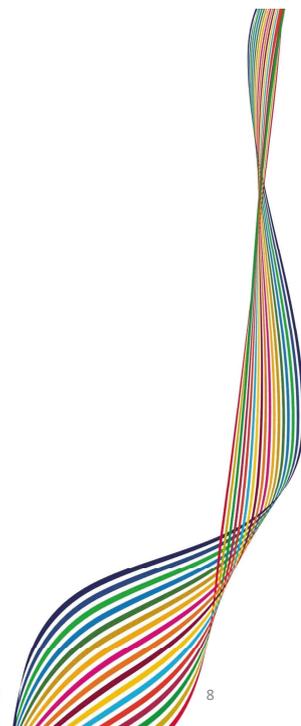


Sostenibilità
in Lombardia



Regione
Lombardia

8



DIOSSINE E FURANI: analiti considerati

TCDD	2,3,7,8-Tetraclorodibenzodiossina (TCDD)
PCDD	1,2,3,7,8-Pentaclorodibenzodiossina (PeCDD)
H4CDD	1,2,3,4,7,8-Esaclorodibenzodiossina (HxCDD)
H6CDD	1,2,3,6,7,8-Esaclorodibenzodiossina (HxCDD)
H7CDD	1,2,3,7,8,9-Esaclorodibenzodiossina (HxCDD)
ECDD	1,2,3,4,6,7,8-Eptaclorodibenzodiossina (HpCDD)
OCDD	Octaclorodibenzodiossina (OCDD)
TCDF	2,3,7,8-Tetraclorodibenzofurano (TCDF)
P3CDF	1,2,3,7,8-Pentaclorodibenzofurano (PeCDF)
P4CDF	2,3,4,7,8-Pentaclorodibenzofurano (PeCDF)
H4CDF	1,2,3,4,7,8-Esaclorodibenzofurano (HxCDF)
H6CDF	1,2,3,6,7,8-Esaclorodibenzofurano (HxCDF)
H2CDF	2,3,4,6,7,8-Esaclorodibenzofurano (HxCDF)
H7CDF	1,2,3,7,8,9-Esaclorodibenzofurano (HxCDF)
E6CDF	1,2,3,4,6,7,8-Eptaclorodibenzofurano (HpCDF)
E7CDF	1,2,3,4,7,8,9-Eptaclorodibenzofurano (HpCDF)
OCDF	Octaclorodibenzofurano (OCDF)



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia

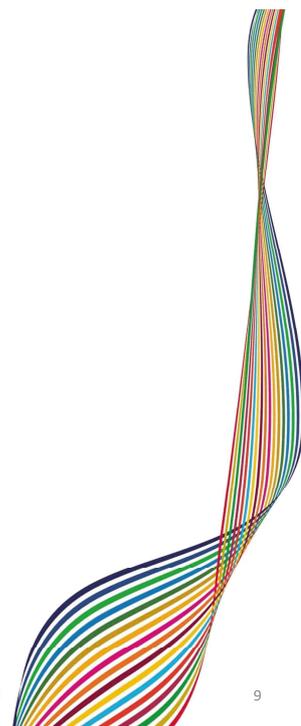


Sostenibilità
in Lombardia



Regione
Lombardia

9



PCB: analiti considerati

PCB81	PCB 81 (3,4,4',5-Tetrachlorobiphenyl)
PCB77	PCB 77 (3,3',4,4'-Tetrachlorobiphenyl)
PCB123	PCB 123 (2',3,4,4',5-Pentachlorobiphenyl)
PCB118	PCB 118 (2,3',4,4',5-Pentachlorobiphenyl)
PCB114	PCB 114 (2,3,4,4',5-Pentachlorobiphenyl)
PCB105	PCB 105 (2,3,3',4,4'-Pentachlorobiphenyl)
PCB126	PCB 126 (3,3',4,4',5-Pentachlorobiphenyl)
PCB167	PCB 167 (2,3',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl)
PCB156	PCB 156 (2,3,3',4,4',5-Hexachlorobiphenyl)
PCB157	PCB 157 (2,3,3',4,4',5'-Hexachlorobiphenyl)
PCB169	PCB 169 (3,3',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl)
PCB189	PCB 189 (2,3,3',4,4',5,5'-Heptachlorobiphenyl)



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia

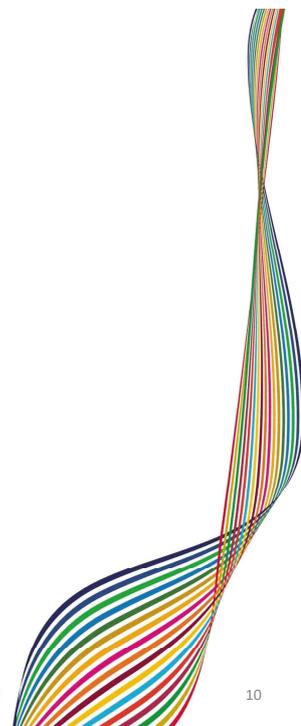


Sostenibilità
in Lombardia



Regione
Lombardia

10



ALTRI PCB E CLORO-ALCANI: analiti considerati

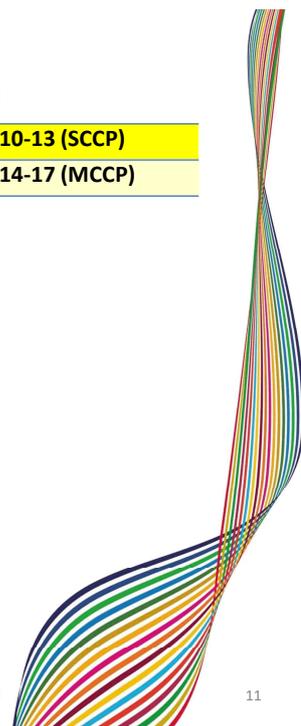
PCB28	PCB 28 (2,4,4'-Trichlorobiphenyl)	Cloro Alcani C10-13 (SCCP)
PCB52	PCB 52 (2,2',5,5'-Tetrachlorobiphenyl)	Cloro Alcani C14-17 (MCCP)
PCB95	PCB 95 (2,2',3,5',6-Pentachlorobiphenyl)	
PCB101	PCB 101 (2,2',4,5,5'-Pentachlorobiphenyl)	
PCB99	PCB 99 (2,2',4,4',5-Pentachlorobiphenyl)	
PCB110	PCB 110 (2,3,3',4',6-Pentachlorobiphenyl)	
PCB151	PCB 151 (2,2',3,5,5',6-Hexachlorobiphenyl)	
PCB149	PCB 149 (2,2',3,4',5',6-Hexachlorobiphenyl)	
PCB146	PCB 146 (2,2',3,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl)	
PCB153	PCB 153 (2,2',4,4',5,5'-Hexachlorobiphenyl)	
PCB138	PCB 138 (2,2',3,4,4',5'-Hexachlorobiphenyl)	
PCB128	PCB 128 (2,2',3,3',4,4'-Hexachlorobiphenyl)	
PCB187	PCB 187 (2,2',3,4',5,5',6-Heptachlorobiphenyl)	
PCB183	PCB 183 (2,2',3,4,4',5',6-Heptachlorobiphenyl)	
PCB177	PCB 177 (2,2',3,3',4,5',6'-Eptachlorobiphenyl)	
PCB180	PCB 180 (2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorobiphenyl)	
PCB170	PCB 170 (2,2',3,3',4,4',5-Heptachlorobiphenyl)	



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



11



COMPOSTI PERFLUORURATI: analiti considerati

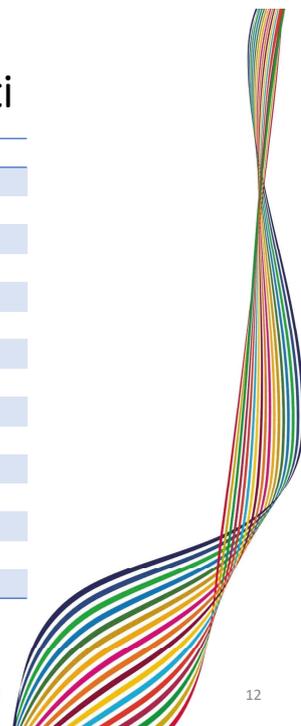
PFOA	Acido n-perfluoroottanoico (PFOA)
PFBA	Acido n-perfluorobutanoico (PFBA)
PFOS	Acido perfluoroottansolfonico (PFOS)
PFBS	Acido perfluorobutansolfonico (PFBS)
PFDeA	Acido n-perfluorodecanoico (PFDeA)
PFDoA	Acido n-perfluorododecanoico (PFDoA)
PFHpA	Acido n-perfluoroeptanoico (PFHpA)
PFHxA	Acido n-perfluoroesanoico (PFHxA)
PFHxS	Acido perfluoroesansolfonico (PFHxS)
PFNA	Acido n-perfluorononanoico (PFNA)
PFPeA	Acido n-perfluoropentanoico (PFPeA)
PFUnA	Acido n-perfluoroundecanoico (PFUnA)
GENX	Gen X (Acido undecafluoro-2-metil-3-oxaesanoico)
C604	C604
PF3ONA	Acido 9-Cloroesadecafluoro-3-oxanone-1-solfonico (9Cl-PF3ONS)
ADONA	Acido dodecafluoro-3H-4,8-dioxananoico (ADONA)



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



12



FLUOROTELOMERI: analiti considerati

FTS42	4:2 Fluorotelomero solfonico (4:2 FTS)
FTS62	6:2 Fluorotelomero solfonico (6:2 FTS)
FTS82	8:2 Fluorotelomero solfonico (8:2 FTS)
FTS102	10:2 Fluorotelomero solfonico (10:2 FTS)
FTA102	10:2 Fluorotelomero acido (10:2 FTA)
FTA62	6:2 Fluorotelomero acido (6:2 FTA)
FTA82	8:2 Fluorotelomero acido (8:2 FTA)
PFTeDA	Acido n-perfluorotetradecanoico (PFTeDA)
PFTrDA	Acido n-perfluorotridecanoico (PFTrA)



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia

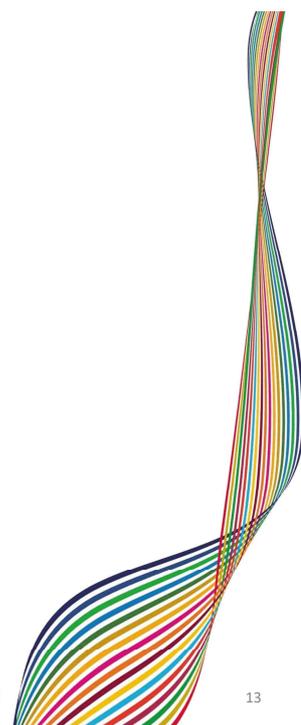


Sostenibilità
in Lombardia



Regione
Lombardia

13



Inquinanti EMERGENTI: analiti considerati

AMI	Amisulpride
AZI	Azitromicina
BPA	Bisfenolo A (BPA)
CARB	Carbamazepina
CYPR	Ciprofloxacina cloridrato
CITA	Citalopram
CLAR	Claritromicina
CLOT	Clotrimazolo
DCPE	Diclofenac
GABA	Gabapentin-Lactam
IRBE	Irbesartan
KETO	Ketoprofene
LAMO	Lamotrigina
METO	Metoprololo
PFEN	Propifenazone
LEVO	Somma di Levofloxacina e Ofloxacina
BACT	Sulfametossazolo
TRIC	Triclosano



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia

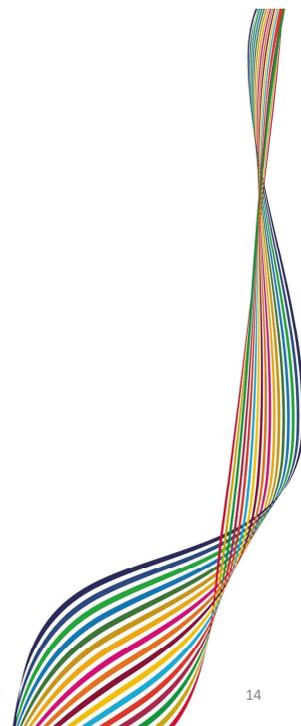


Sostenibilità
in Lombardia



Regione
Lombardia

14



campioni

- **3 campagne di campionamento**
 - Secondo metodiche in uso con la supervisione dell'Università degli Studi di Milano (prof. Adani)
- **44 Fanghi in ingresso in presso i 5 impianti di trattamento**
- **15 Fanghi/Digestati R10 trattati, in uscita dagli stessi 5 impianti**
 - 12 Fanghi R10
 - 3 Digestati R10
- **I campioni sia in ingresso che in uscita dagli impianti sono stati analizzati dai diversi laboratori di analisi**
 - a cui ciascun impianto fa riferimento per le certificazioni prescritte
- **L'analisi statistica è risultata particolarmente complessa**
 - **gli analiti non sono stati determinati su tutti campioni**
 - «MISSING DATA» → una matrice [campioni\analiti] piena di «buchi»
 - **il LOQ o LD non sono uguali per i diversi laboratori**
 - Dati D (Detected > LOQ)
 - Dati ND (Not Detected < LOQ) → una matrice [campioni\analiti] piena di «buchi ND»



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



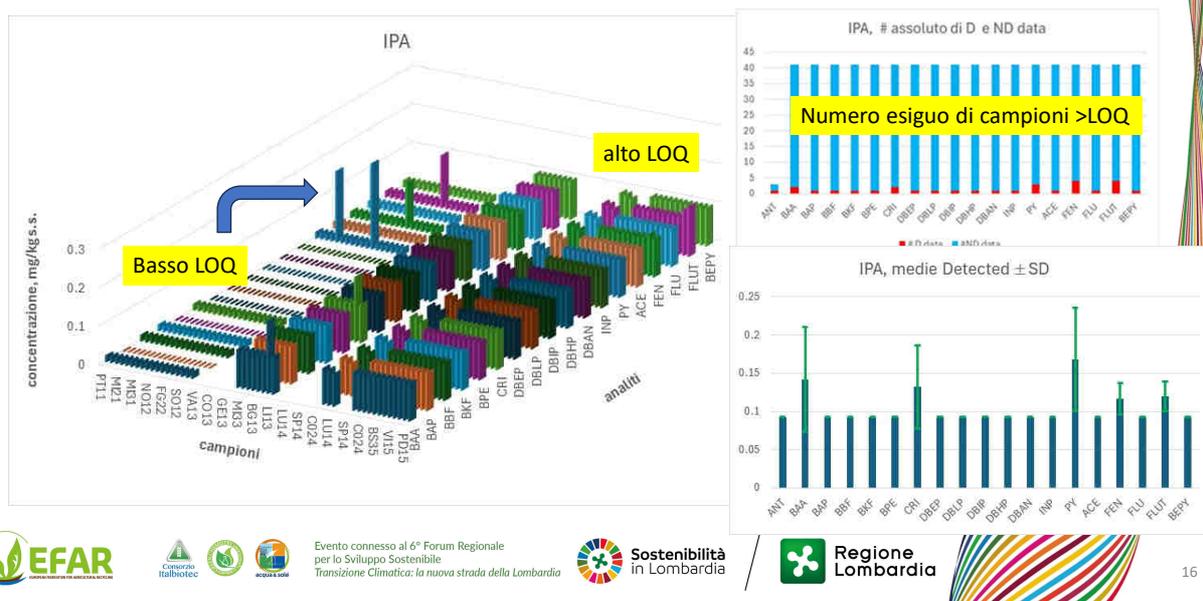
Sostenibilità in Lombardia



Regione Lombardia

15

Es. matrice [campioni\analiti] per IPA su FANGHI



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



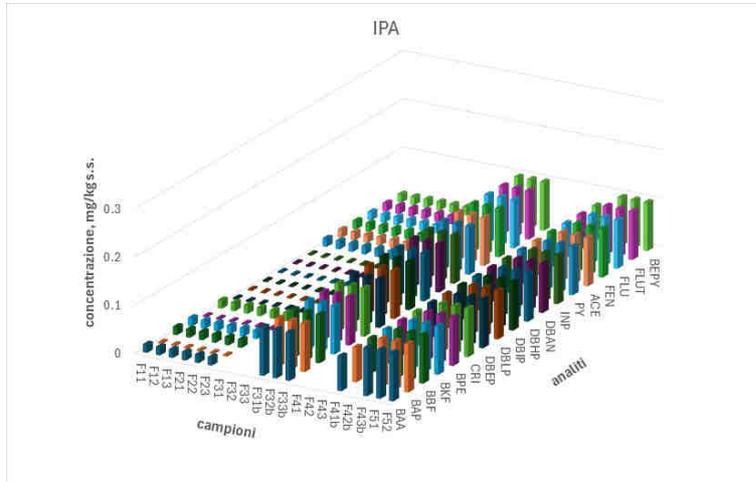
Sostenibilità in Lombardia



Regione Lombardia

16

Es. matrice [campioni\analiti] per IPA su FANGHI-R10

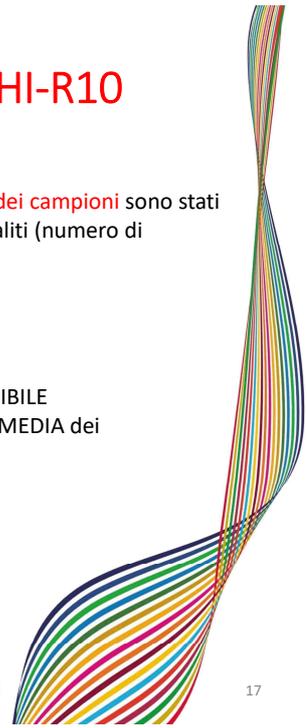


In **NESSUNO** dei campioni sono stati rilevati gli analiti (numero di Detected=0)

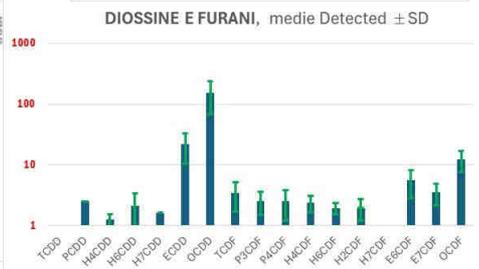
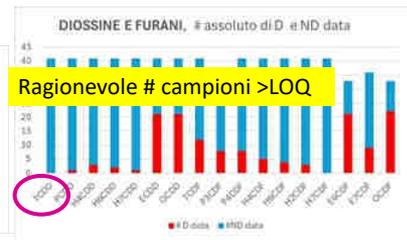
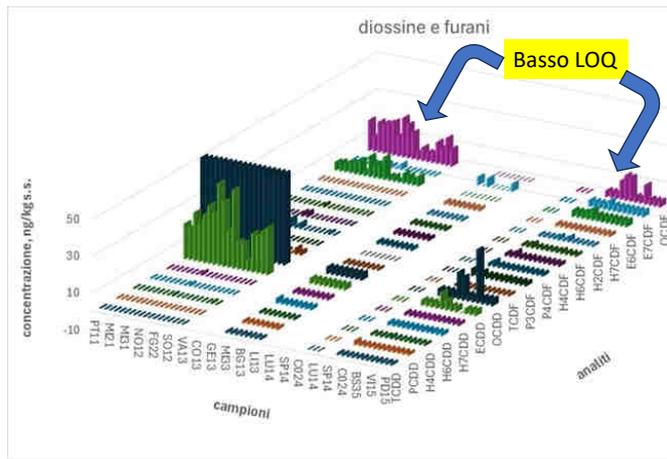
NON E' POSSIBILE STIMARE LA MEDIA dei dati D



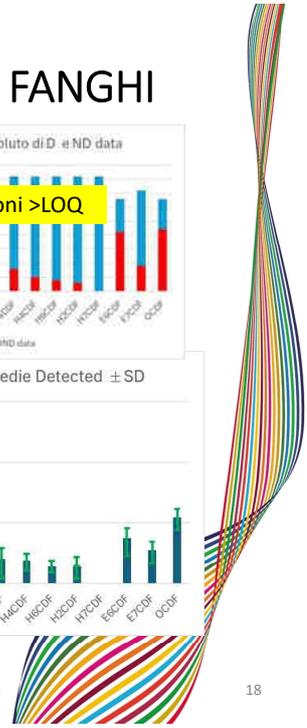
Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



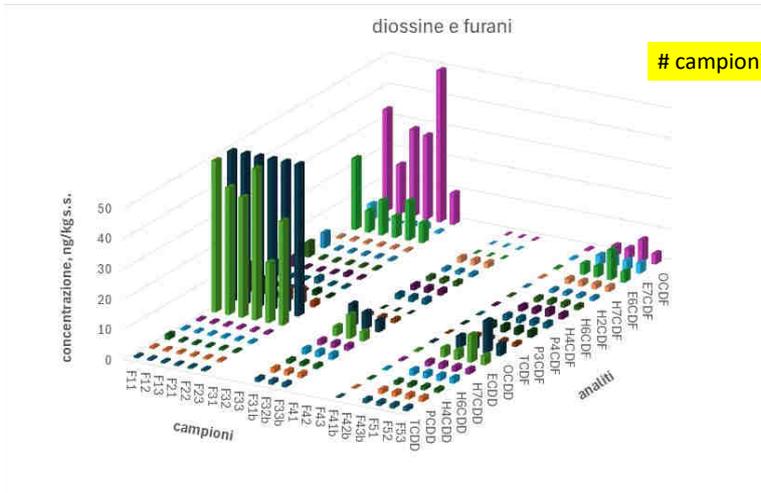
Es. matrice [campioni\analiti] per DIOSSINE su FANGHI



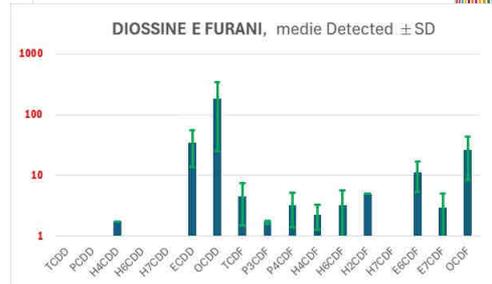
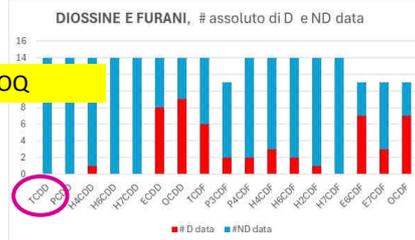
Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



Es. matrice [campioni\analiti] per **DIOSSINE** su **FANGHI-R10**



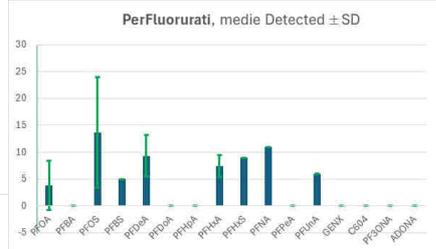
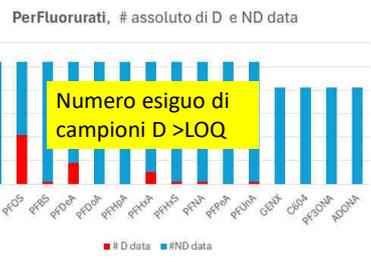
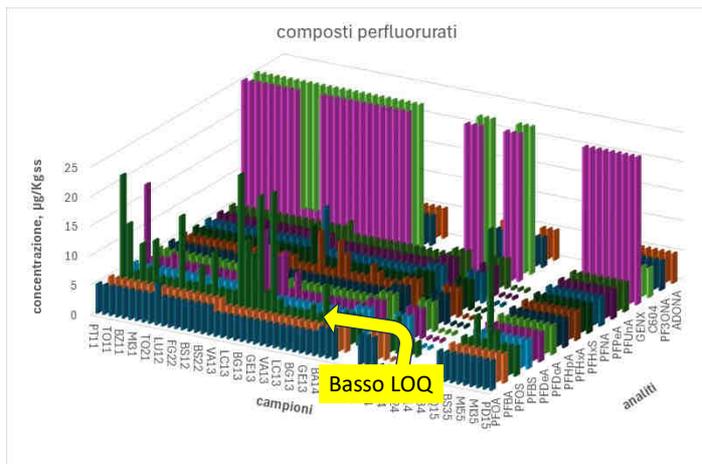
campioni >LOQ



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



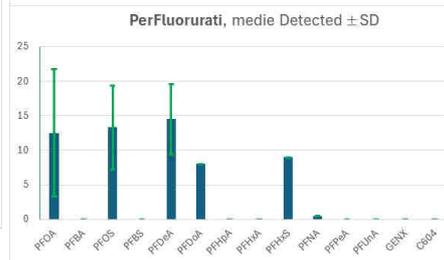
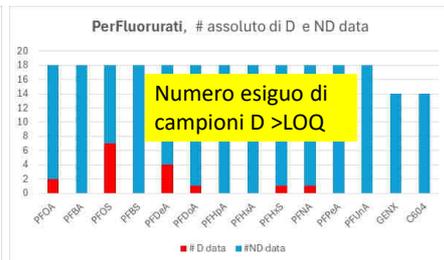
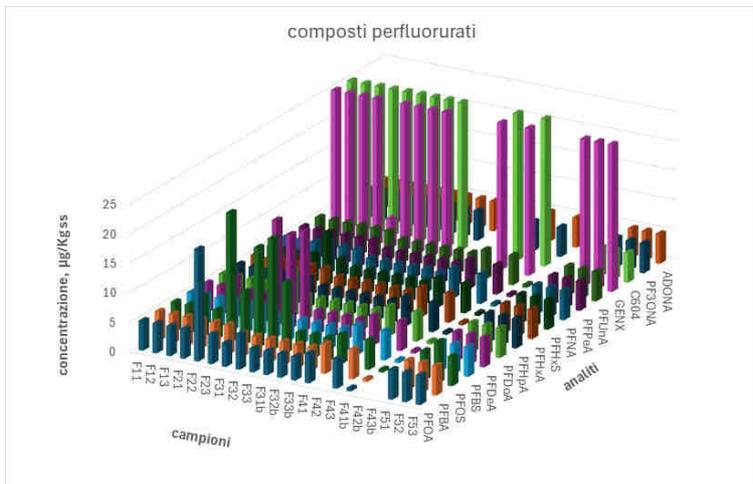
Es. matrice [campioni\analiti] per **PERFLUORURATI** su **FANGHI**



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



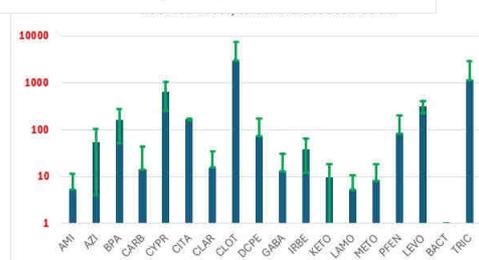
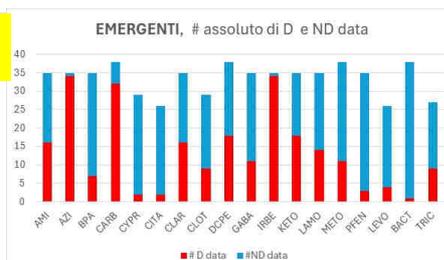
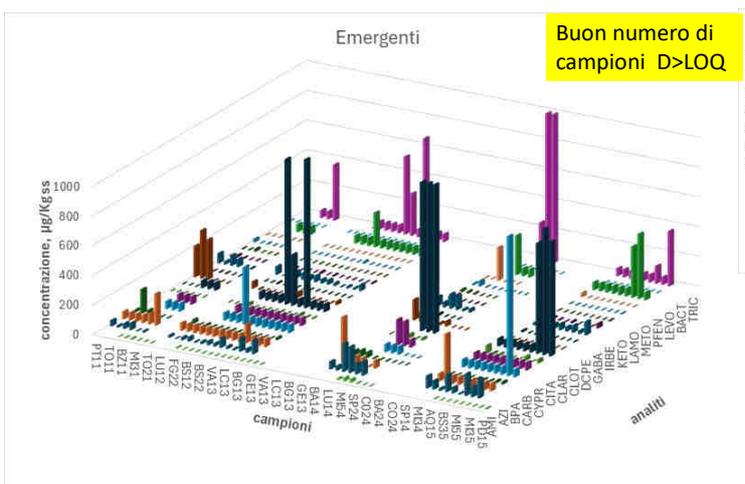
Es. matrice [campioni\analiti] per PERFLUORURATI su FANGHI R10



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



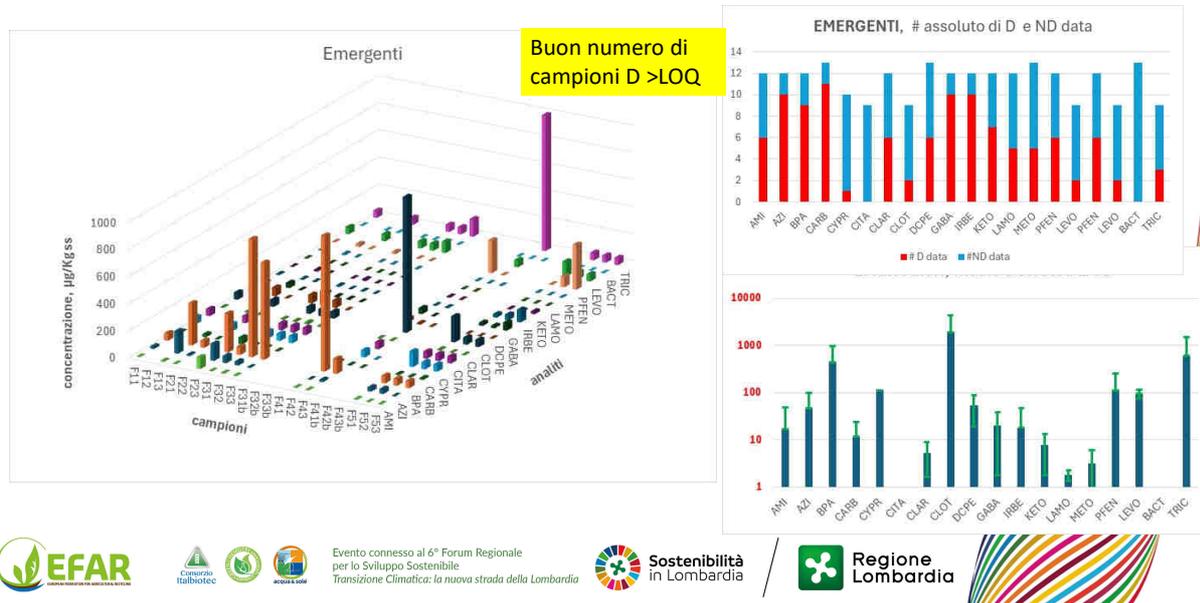
Es. matrice [campioni\analiti] per EMERGENTI su FANGHI



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



Es. matrice [campioni\analiti] per EMERGENTI su FANGHI-R10



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



Sostenibilità
in Lombardia



Regione
Lombardia

23

Risultati analitici (D/ND) per altre classi di composti (evidenze analoghe alle precedenti → riassunto)

- **Alchilfenoli**
 - In **NESSUNO** dei campioni FANGHI e FANGHI-R10 sono stati rilevati gli analiti (numero di Detected=0) a concentrazioni maggiori di LOQ
- **Ftalati**
 - solo due composti: DEHP e DINP
- **PCB dioxin-like**
 - rilevati (D) in circa il 50% dei campioni FANGHI analizzati su una base statistica di 41 campioni
 - rilevati (D) in circa il 40% dei campioni FANGHI-R10 analizzati su una base statistica di 14 campioni
- **PCB (altri)**
 - trovati >LOQ nel 44% dei campioni FANGHI su un totale di 41 campioni analizzati
 - trovati >LOQ in 6/14 campioni FANGHI-R10
- **Cloroalcani**
 - non sono stati rilevati a concentrazioni maggiori di LOQ in
 - **NESSUN** campione FANGHI dei 52 sottoposti ad analisi
 - **NESSUN** campione FANGHI-R10 dei 14 sottoposti ad analisi
- **Fluorotelomeri**
 - nei Fanghi solo FTA62
 - nei Fanghi-R10 solo FTS62
 - # campioni analizzati non è stato indifferente (41 e 23 campioni)



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



Sostenibilità
in Lombardia



Regione
Lombardia

24

Paragone Fanghi/Fanghi R10

- precedenti risultanze analitiche mostrano che i valori osservati di concentrazione nei Fanghi R10 in uscita dagli impianti hanno per i vari analiti un andamento simile alle concentrazioni misurate nei Fanghi in ingresso negli impianti
 - Non vi è una correlazione di causa-effetto del trattamento
 - il campionamento è stato effettuato concomitantemente sullo stesso impianto
 - le risultanze analitiche sui Fanghi R10 si riferiscono a precedenti carichi di FANGHI
 - medie su diversi impianti tra loro evidentemente scorrelati
- Si riportano nelle figure seguenti le medie delle concentrazioni osservate per i vari analiti nei FANGHI R10 (ordinata) e nei FANGHI (ascissa), per ciascuna classe di analiti
 - Non sono riportate le correlazioni per IPA e Alchilfenoli (dati su FANGHI R10 <LOQ), per Ftalati (solo due composti DEHP e DINP), per Fluorotelomeri (due composti diversi ritrovati nei Fanghi (FTA62) e Fanghi-R10 (FTS62))



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



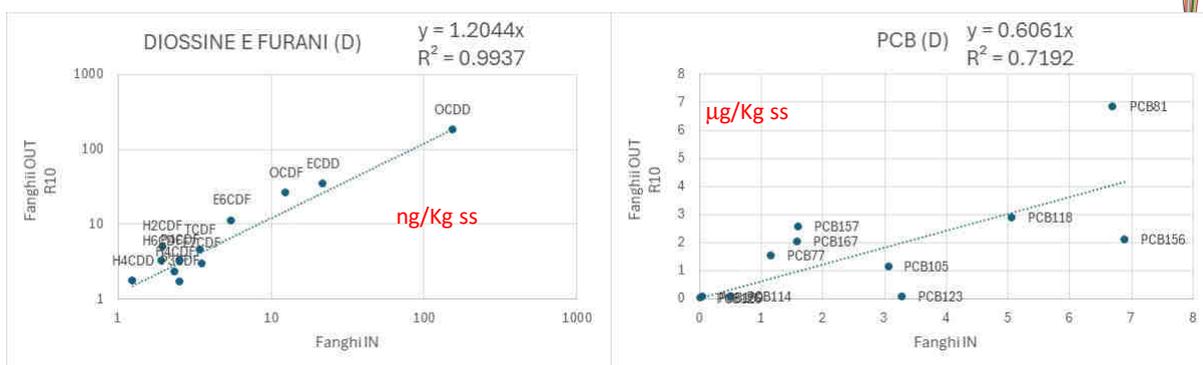
Sostenibilità in Lombardia



Regione Lombardia

25

Paragone Fanghi/Fanghi R10



si notino:

- le scale di concentrazione
- i composti predominanti
- la correlazione



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



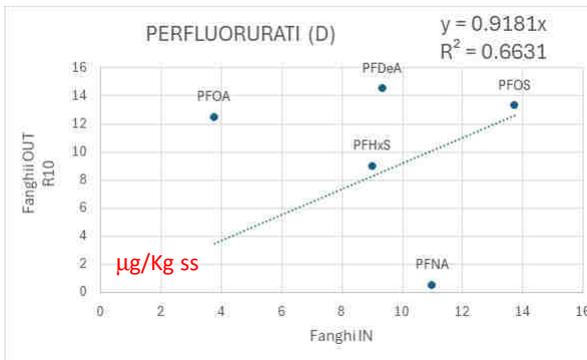
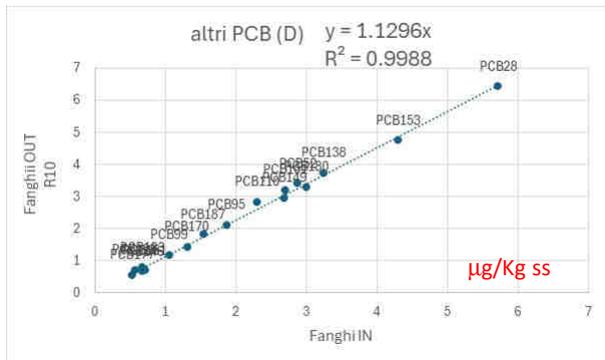
Sostenibilità in Lombardia



Regione Lombardia

26

Paragone Fanghi/Fanghi R10

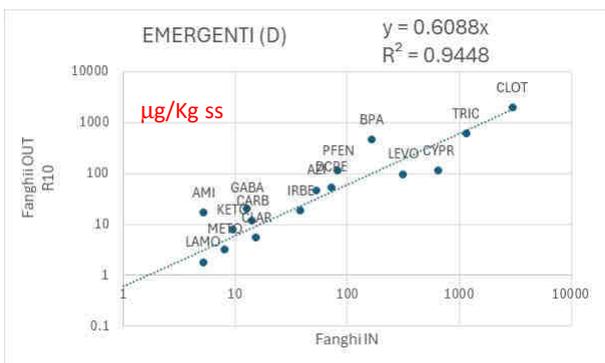


Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



27

Paragone Fanghi/Fanghi R10



	su dati Detected	
	rapporto OUT/IN	R ²
Ftalati	N/A, solo due dati	
Diossine e Furani	1.2044	0.9937
PCB	0.6061	0.7192
altri PCB	1.1296	0.9988
Perfluorurati	0.9181	0.6631
Emergenti	0.6088	0.9448
media	0.893	0.864
SD	0.281	0.160



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



28

Conclusione su paragone Fanghi/Fanghi R10

- **in media sui dati (D, detected) si ha evidente e forte correlazione**
 - pur essendoci errori analitici che derivano dalle diverse procedure analitiche utilizzate da diversi laboratori di analisi;
 - pur essendo i campioni di FANGHI in ingresso non corrispondenti ai FANGHI R10 in uscita dagli impianti stessi;
 - pur essendoci diverse fonti di FANGHI;
 - constatando che le medie sono quelle ottenute su diversi impianti;
- **conclusioni:**
 - i processi di trattamento, pur apportando al materiale in ingresso le necessarie igienizzazione e stabilizzazione previste dalla norma, non influenzano significativamente in media le concentrazioni in uscita dagli impianti
 - come ci si aspetta dal tipo di trattamento operato.
 - Il complesso delle misure analitiche effettuate sui Fanghi e sui Fanghi R10 mostra che le misure sono complessivamente tra di esse molto consistenti
 - considerando la molteplicità e diversità dei fanghi in ingresso, che di impianti, sia la molteplicità dei laboratori di analisi.
- **i dati sono molto robusti e indicativi della qualità dei Fanghi R10**



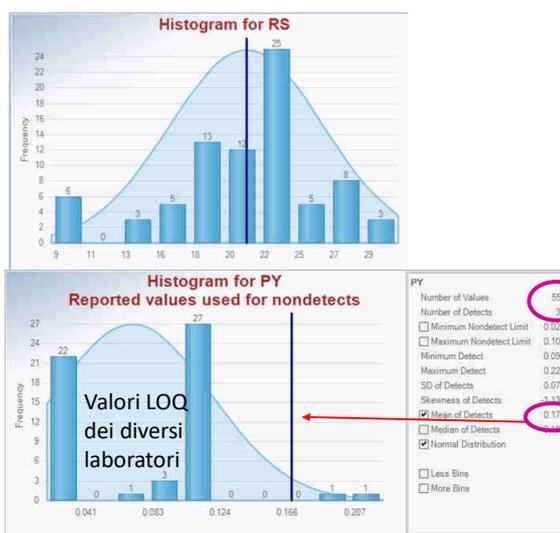
Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



29

Osservazioni sui dati analitici acquisiti (D/ND)

- **Mostrate medie e correlazione su dati D**
- **per molti analiti le analisi ha fornito dati <LOQ**
 - Dati D (Detected > LOQ)
 - Dati ND (Not Detected < LOQ) → una matrice [campioni\analiti] piena di «buchi ND»
- **dati censurati a sinistra → cosa farne?**
 - ignorare i valori <LOQ e calcolare la media aritmetica dei valori rimanenti porta chiaramente a un valore che è distorto in alto
 - Considerare valori = LOQ ?
 - Considerare valori = LOQ/2 ?
 - effetto non trascurabile sulla somma risultante (es. per la valutazione del TEQ)
- **le medie ottenute solo sui dati D (detected) non rappresentano tutta l'informazione presente nei dati (anche quelli ND)**



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



30

Analisi con dati ND

- la media aritmetica sui valori D (linea verticale nera), è molto diversa dalla moda della distribuzione che si potrebbe adottare per i dati
- le distribuzioni non corrispondono di solito a una distribuzione normale
- metodo di stima KM (Kaplan e Meier)
 - Analisi di sopravvivenza (dati censurati a destra)
 - può essere utilizzato direttamente su set di dati ambientali censurati a sinistra
 - Non richiede assunzione sulla distribuzione (normale, lognormale o gamma)
- È stata eseguita analisi di Kaplan-Meier, ossia considerando oltre che i dati D anche i dati ND (not detected).



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia

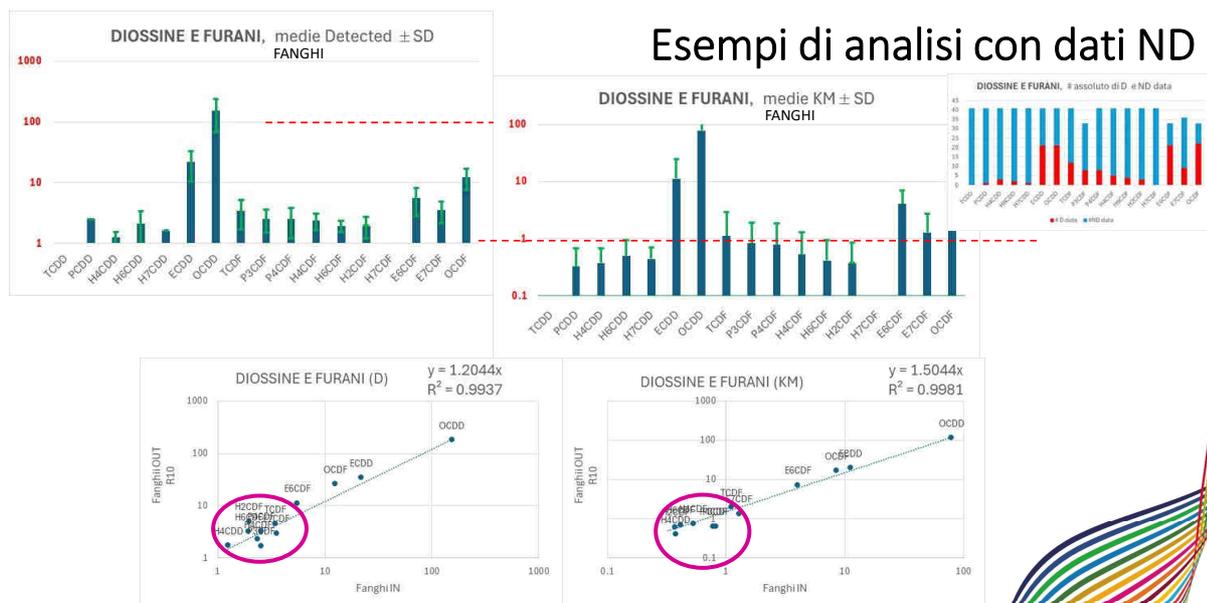


Sostenibilità in Lombardia



Regione Lombardia

31



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



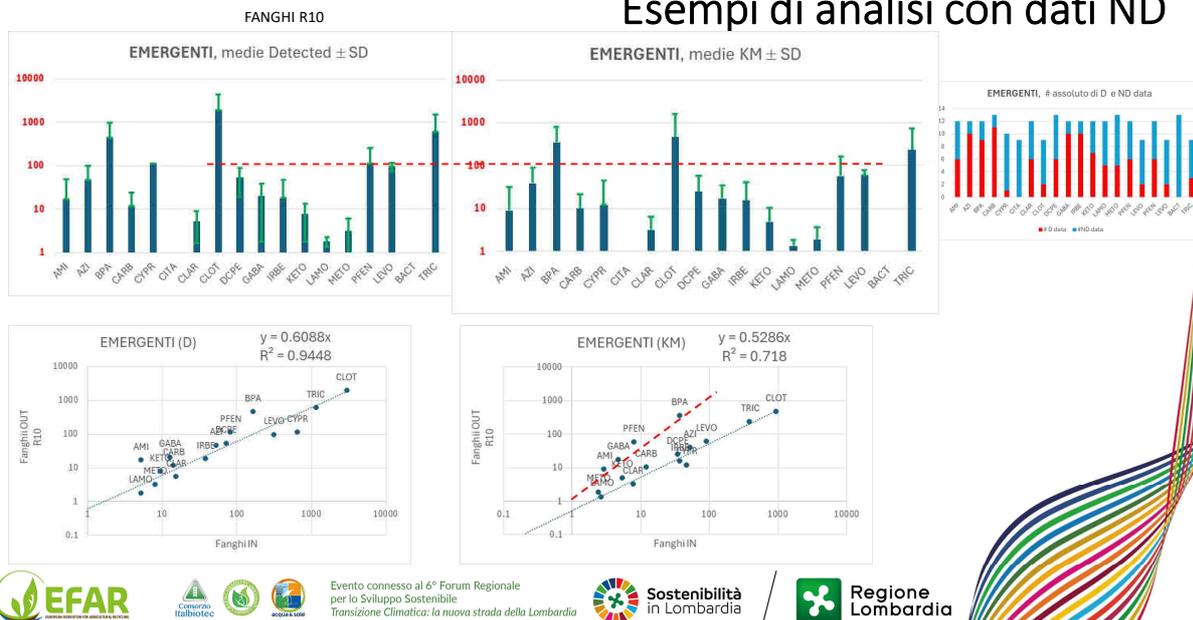
Sostenibilità in Lombardia



Regione Lombardia

32

Esempi di analisi con dati ND



Osservazioni sulle medie KM

- i valori medi di concentrazione KM sono minori della media solo su Detected (D) per la concomitante presenza di dati ND
 - Si considera nell'analisi il LOQ in maniera rigorosa
- i valori medi KM sono maggiormente rappresentativi della media di concentrazioni rilevabili su FANGHI e FANGHI-R10

Confronto con altri dati disponibili su fanghi

- “Progetto per una campagna di controllo straordinario sul recupero agronomico dei rifiuti (R10) a seguito di accordo con le imprese operanti nel settore” **Progetto Provincia di Pavia**

- <https://www.provincia.pv.it/it/news/1361736>

- **Rapporto norvegese “Norsk Vann Rapport 283/2023”**

- **pubblicato il 14/02/2024, dati relativi al biennio 2022/23**

- **Ny Norsk Vann rapport: Innhold av organiske miljøgifter i norsk avløpsslam. Rapport 283/2023, Utgivelse: Mai 2024 Forfattere: Liv Bruås Henninge, COWI og Line Diana Blytt, Norwaste; Norsk Vann**



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



Sostenibilità
in Lombardia



Regione
Lombardia

35

Confronto dei dati per IPA

Classe di Composti	Composto\ concentrazioni mg kg ss ⁻¹	rapporto JRC mg kg ss ⁻¹	Questo lavoro mg kg ss ⁻¹	SD	Norsk Vann mediana mg kg ss ⁻¹	Norsk Vann media mg kg ss ⁻¹
IPA	Benzo(b) fluoranthene	1,92	0,021	0,017		
	Chrysene	2,02	0,024	0,028		
	Benzo(a)pyrene	1,48	0,0075	0,020		
	Benzo(a)antracene	1,83	0,025	0,031		
IPA tot.	IPA 16		0,39 (KM) 0,68 (D)		0,67	0,94

- una sostanziale **convergenza** tra i dati della ricerca e quanto emerso dall'indagine norvegese del Norsk Vann
- **Valori JRC >> !!**



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



Sostenibilità
in Lombardia



Regione
Lombardia

36

Confronto dei dati per Nonilfenoli

Classe di Composti	Composto\ concentrazioni mg kg ss ⁻¹	rapporto JRC mg kg ss ⁻¹	Questo lavoro mg kg ss ⁻¹	SD	Norsk Vann mediana mg kg ss ⁻¹	Norsk Vann media mg kg ss ⁻¹
Nonyl phenols	4-nonylphenol	10	<0,50	-	<0,02	<0,02
	4-nonylphenol ethoxylate	10	<0,5	-		
	4 tert octylphenol	1	0,054	0,01		

- una sostanziale convergenza tra i dati della ricerca e quanto emerso dall'indagine norvegese del Norsk Vann
- Valori JRC >> !!



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



Sostenibilità in Lombardia



Regione Lombardia

37

Confronto dei dati per Ftalati

Classe di Composti	Composto\ concentrazioni mg kg ss ⁻¹	rapporto JRC mg kg ss ⁻¹	Questo lavoro mg kg ss ⁻¹	SD	Norsk Vann mediana mg kg ss ⁻¹	Norsk Vann media mg kg ss ⁻¹
ftalati	DEHP	50	3,38	3,56	10,3	
	DINP	30	2,69	5,83		

- una sostanziale convergenza tra i dati della ricerca e quanto emerso dall'indagine norvegese del Norsk Vann
- Valori JRC >> !!



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



Sostenibilità in Lombardia



Regione Lombardia

38

Confronto dei dati per Policloroalcani

Classe di Composti	Composto\ concentrazioni mg kg ss ⁻¹	rapporto JRC mg kg ss ⁻¹	Questo lavoro mg kg ss ⁻¹	SD	Norsk Vann mediana mg kg ss ⁻¹	Norsk Vann media mg kg ss ⁻¹
	SCCPs	100	<0,5	-	0,45	0,66
	MCCPs	100	<0,5	-	1,8	4,01

- una sostanziale **convergenza** tra i dati della ricerca e quanto emerso dall'indagine norvegese del Norsk Vann
- Valori **JRC >> !!**



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



Sostenibilità in Lombardia



Regione Lombardia

39

Confronto dei dati per PFAS

Classe di Composti	Composto\ concentrazioni mg kg ss ⁻¹	rapporto JRC mg kg ss ⁻¹	Questo lavoro mg kg ss ⁻¹	SD	Norsk Vann mediana mg kg ss ⁻¹	Norsk Vann media mg kg ss ⁻¹
PerFluorinated Alkylated Substances (PFAS)	PFOA	6,7	0,63	0,89	<LOD	<LOD
	PFHxS	1,4	0,66	1,17	<LOD	<LOD
	PFNA	4,6	0,70	1,44		
	PFOS	66,4	7,03	8,43	2,8	4,9

- una sostanziale **convergenza** tra i dati della ricerca e quanto emerso dall'indagine norvegese del Norsk Vann
- Valori **JRC >> !!**



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



Sostenibilità in Lombardia



Regione Lombardia

40

Inquinanti Emergenti

- Da una prima comparazione con i dati Norsk Vann Report si osserva
 - che per alcuni composti i valori sono simili o comparabili (BPA, CLAR, GABA, IRBE)
 - per altri si ha una forte differenza

sigla	NOME	Norsk Vann Report 283/2023 (1)		questo studio (vedi Appendice 2, Tabella 13)			
		media	mediana	media D	SD su D	media KM	KM SD
AMI	Amisulpride	194	150	16.83	32.92	8.917	22.68
AZI	Azitromicina	187	190	46.6	53.47	39	49.32
BPA	Bisfenolo A (BPA)	586	570	449.6	522.3	349.7	460.2
CARB	Carbamazepina	66	49	11.73	12.74	10.08	11.83
CYPR	Ciprofloxacina cloridrato	-	-	112		12.1	33.3
CITA	Citalopram	127	100				
CLAR	Clarithromicina	3	<16	5.333	3.67	3.167	3.21
CLOT	Clotrimazolo	-	-	1924	2454	466.4	1130
DCPE	Diclofenac	305	270	53	33.59	25	33.26
GABA	Gabapentin-Lactam	109	70	20.4	18.63	17.17	17.68
IRBE	Irbesartan	60	55	18.2	28.07	15.33	25.14
KETO	Ketoprofene	-	-	7.714	5.908	4.917	5.33
LAMO	Lamotrigina	42	37	1.8	0.447	1.333	0.471
METO	Metoprololo	119	120	3.2	2.775	1.846	1.875
PFEN	Propifenazone	-	-	113.2	137.8	57.08	105.1
LEVO	Somma di Levofloxacina e Ofloxacina	-	-	95.5	19.09	60.11	19.96
BACT	Sulfametossazolo	4.1	3.1				
TRIC	Triclosano	-	-	603	889.3	234.3	493.7



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



41

conclusioni

- forte correlazione tra i valori riscontrati nei FANGHI-R10 con quella dei FANGHI in ingresso agli impianti,
 - anche se non vi è una relazione diretta tra le due categorie di fanghi
 - campionate contestualmente
- i processi di trattamento non influenzano significativamente in media il rapporto delle concentrazioni in uscita/ingresso dagli impianti
 - pur apportando al materiale in ingresso le necessarie igienizzazione e stabilizzazione previste dalla norma
- il complesso delle misure analitiche effettuate sui Fanghi e sui Fanghi R10 mostra che le misure sono tra loro complessivamente molto consistenti
 - considerando la molteplicità e diversità dei fanghi in ingresso
 - la molteplicità dei laboratori di analisi e di impianti
- dati sono molto robusti e indicativi della qualità dei Fanghi R10



Evento connesso al 6° Forum Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



42

conclusioni

- **I dati della campagna sono molto positivi**
 - **rispettati i limiti di legge sia per i FANGHI che per i FANGHI R10**
 - **il set di dati prodotto presenta più della metà delle misurazioni al di sotto del limite di rilevabilità**
 - **trattazione statistica ad hoc per l'ottenimento di dati medi**
 - **importante selezionare metodi analitici con sensibilità sufficiente per prevenire eccessivi non rilevamenti**
 - **concentrazioni di inquinanti organici in linea con autorevoli e recenti investigazioni**
- **<< JRC**
 - **un trend in diminuzione delle concentrazioni degli inquinanti organici nei fanghi dal 1996/97 ad oggi**
 - **Utilizzo in JRC di valori datati, riferentesi a situazione ambientali ben peggiori dell'attuale**



Evento connesso al 6° Forum Regionale
per lo Sviluppo Sostenibile
Transizione Climatica: la nuova strada della Lombardia



43

