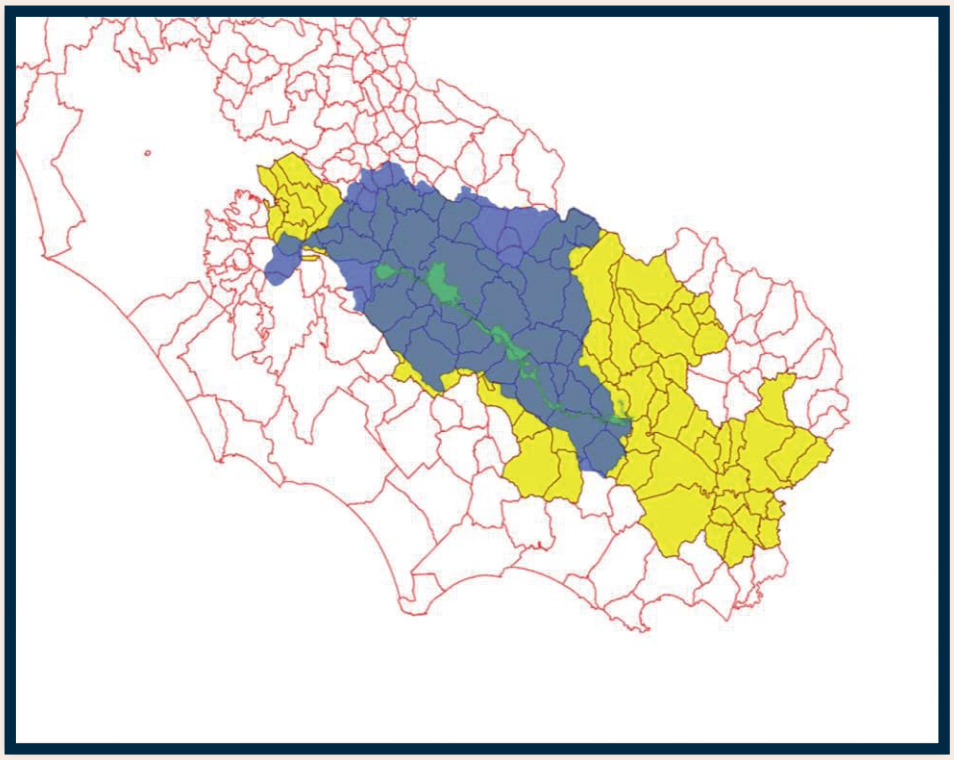
ARPALAZIO
AGENZIA REGIONALE PROTEZIONE AMBIENTALE DEL LAZIO

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

REGIONE LAZIO

LA VALLE DEL FIUME SACCO
UNO STUDIO AMBIENTALE



2026

ARPALAZIO
AGENZIA REGIONALE PROTEZIONE AMBIENTALE DEL LAZIO

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

REGIONE LAZIO

LA VALLE DEL FIUME SACCO
UNO STUDIO AMBIENTALE

2026

La Valle del fiume Sacco. Uno studio ambientale.

Rapporto a cura di:
ARPA Lazio - Dipartimento stato dell'ambiente

Floriana Grassi, Alessandra Scala, Alessandra Calcagni, Giorgia Nadia Torelli, Gianmarco Caramitti, Alessandro D. Di Giosa, Eleonora Marzi, Mauro D'Angelantonio, Massimo Magliocchetti, Marco Le Foche.

Contatti autori:
floriana.grassi@arpalazio.it
alessandra.scala@arpalazio.it
alessandra.calcagni@arpalazio.it
giorgianadia.torelli@arpalazio.it
alessandro.digiosa@arpalazio.it
eleonora.marzi@arpalazio.it
mauro.dangelantonio@arpalazio.it
massimo.magliocchetti@arpalazio.it
marco.lefoche@arpalazio.it

Edizione web
https://www.arpalazio.it/web/guest/pubblicazioni

RIASSUNTO
L'Agenzia, sulla base dei dati raccolti attraverso le attività di monitoraggio e controllo, contribuisce alla conoscenza del territorio e dello stato di salute dell'ambiente attraverso la pubblicazione di prodotti informativi (dati, elaborazioni, proiezioni) che costituiscono uno degli strumenti necessari per affrontare le sfide legate alla sostenibilità, alla tutela delle risorse naturali e al miglioramento della qualità della vita per tutti. Questo report si propone di assolvere a tale funzione, a servizio dei decisori pubblici, dei corpi intermedi e dei cittadini, rappresentando sinteticamente, in termini qualitativi e quantitativi, lo stato ambientale dell'area denominata "Valle del Sacco", aggiornato all'anno 2024 e relativamente alle matrici aria, acqua e suolo.
Il quadro che emerge presenta non poche criticità: le acque superficiali e sotterranee mostrano uno stato ecologico e chimico sfavorevole, con contaminazioni persistenti da HCH, pesticidi e PFAS legate a pressioni urbane e agricole. La qualità dell'aria, sebbene in miglioramento, registra superamenti frequenti dei limiti per PM_{10}, $PM_{2.5}$ e NO_2, tanto più critici in considerazione dei nuovi standard UE "zero pollution". Il suolo risulta compromesso da metalli, metalloidi e solventi clorurati nei siti del SIN, richiedendo interventi di bonifica mirati, ma anche una caratterizzazione dei valori di fondo naturali. Il quadro complessivo evidenzia la necessità di azioni coordinate di prevenzione, risanamento e gestione sostenibile.

Parole chiave: Valle del Sacco, Monitoraggio ambientale, Acque superficiali e sotterranee, Qualità dell'aria, Qualità del suolo, Stato ecologico e chimico, Bonifica dei siti SIN, Prevenzione e risanamento, Gestione sostenibile

ARPA Lazio – 2026

Quest'opera è distribuita con Licenza
Creative Commons Attribuzione Italia 4.0

Coordinamento editoriale a cura dell'Area sistemi operativi e gestione della conoscenza
Progetto grafico e stampa: Krea l'idea - Roma

In copertina: Carta della Valle del Sacco. Fonte: Archivio ARPA Lazio

Tutte le foto presenti nella pubblicazione sono dell'Archivio fotografico dell'ARPA Lazio

INDICE

ABBREVIAZIONI 4
PRESENTAZIONE 5
1 INTRODUZIONE 7
2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE 8
2.1 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico 8
3 LA QUALITÀ DELL'AMBIENTE NELLA VALLE DEL SACCO 11
3.1 ACQUE 12
3.1.1 Idrografia ed idrogeologia della Valle del Sacco 12
3.1.2 Il monitoraggio delle acque 15
3.1.3 Rete di monitoraggio regionale dei corpi idrici superficiali nel bacino del Sacco 16
3.1.4 Qualità ambientale delle acque superficiali 19
3.1.4.1 Stato ecologico 19
3.1.4.2 Stato chimico 22
3.1.5 Rete di monitoraggio corpi idrici sotterranei 23
3.1.6 Qualità ambientale delle acque sotterranee 27
3.1.6.1 Stato chimico e stato quantitativo 27
3.1.6.2 Facies idrochimica 31
3.1.7 Criticità ambientali sulle acque 32
3.1.7.1 I fattori di pressione 32
3.1.7.2 Inquinamento da sostanze prioritarie 38
3.2 ARIA 39
3.2.1 I sistema di monitoraggio 42
3.2.2 Lo stato di qualità dell'aria 43
3.2.2.1 Particolato atmosferico 45
3.2.2.2 Analisi su filtro e speciazione 51
3.2.2.3 Sistema modellistico regionale 54
3.2.3 Criticità ambientali 60
3.2.3.1 La complessità orografica 60
3.2.3.2 I fattori di pressione 62
3.3 SUOLO 63
3.3.1 Sito d'interesse nazionale Bacino del Fiume Sacco 63
3.3.2 Il monitoraggio dei siti contaminati 64
3.3.2.1 Procedimenti di bonifica nella regione Lazio 65
3.3.2.2 Procedimenti di bonifica nella provincia di Frosinone 66
3.3.2.3 Procedimenti di bonifica avviati all'interno del SIN "Bacino del Fiume Sacco" 68
3.3.3 Criticità ambientali 70
3.3.3.1 Matrice suolo 70
3.3.3.2 Matrice acque sotterranee 72
3.3.3.3 I valori di fondo 73
4 Conclusioni 77

INDICE TABELLE

Tabella 1. Sistema di classificazione dello stato ecologico ai sensi del d.lgs. 152/06..... 15
Tabella 2. Sistema di classificazione dello stato chimico ai sensi del d.lgs. 152/06 16
Tabella 3. Rete di monitoraggio Corpi idrici fluviali bacino del Fiume Sacco. N.D. si riferisce ai corpi idrici monitorati con G.E..... 17
Tabella 4. Rete di monitoraggio Corpi idrici fluviali bacino del Fiume Sacco 18
Tabella 5. Elementi di qualità per lo stato ecologico ciclo 2021-2023 20
Tabella 6. Elementi di qualità per lo stato ecologico ciclo 2021-2023 Lago di Canterno 21
Tabella 7. Trend di Stato di Qualità Ambientale dei corpi idrici con indicazione degli elementi che determinano l'eventuale scadimento dello stato ecologico (INV: Macroinvertebrati; FP: fitoplancton)..... 21
Tabella 8. stato chimico ciclo 2021-2023 e relativi superamenti rilevati (MA: concentrazione media annua; CMA: concentrazione massima ammissibile; NP: non in programma di monitoraggio per l'annualità)..... 22
Tabella 9. Trend di Stato di Qualità Ambientale dei corpi idrici con indicazione degli parametri che determinano lo scadimento dello stato chimico 23
Tabella 10. Denominazione CIS e codici identificativi 24
Tabella 11. Anagrafiche dei punti di campionamento 26
Tabella 12. Stato chimico sessennio 2015-2020 Unità terrigena della valle dei Fiumi Sacco, Liri e Garigliano (Dq009) 28
Tabella 13. Risultati monitoraggio qualità chimica triennio 2021-2023 Unità terrigena della valle dei Fiumi Sacco, Liri e Garigliano (Dq009)..... 29
Tabella 14. Tipologie di pressioni insistenti sui corpi idrici superficiali (fluviali e lacustri) del Bacino del Fiume Sacco. * parametro valido solo per lago..... 37
Tabella 15. Tipologie di pressioni insistenti sul corpo idrico sotterraneo dell' Unità terrigena della valle dei Fiumi Sacco, Liri e Garigliano (Dq009)..... 38
Tabella 16. Valori limite previsti dal decreto legislativo n. 155/2010 41
Tabella 17. Localizzazione e dotazione strumentale delle stazioni della Zona Valle del Sacco NEL 2024 43
Tabella 18. Dati di qualità dell'aria nell'anno 2024 44
Tabella 19. Concentrazione media annua di benzo(a)pirene nel 2024 52
Tabella 20. Concentrazione media annua di arsenico, cadmio, nichel e piombo nel 2024 52
Tabella 21. Statistiche descrittive dei composti analizzati nei campioni di PM_{10} 54
Tabella 22. Caratterizzazione della qualità dell'aria dei comuni della Valle del Sacco 57
Tabella 23. Stralcio di Tabella 1, Colonne A e B - Allegato 5 alla Parte IV del d.lgs. 152/06 in cui si riportano le sostanze chimiche maggiormente impattanti per il territorio in provincia di Frosinone 67
Tabella 24. Stralcio di tabella 2 - allegato 5 alla parte IV del d.lgs. 152/06 in cui si riportano le sostanze chimiche maggiormente impattanti per il territorio in provincia di Frosinone 67

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. Aree territoriali considerate per lo studio delle matrici ambientali acqua, aria e suolo nella Valle del Sacco 11
Figura 2. Delimitazione del bacino idrografico ed idrogeologico 12
Figura 3. Bacino idrografico del Fiume Sacco e sottobacini afferenti (Carta con bacino e sottobacini e comuni, corpi idrici e reticolo) 13
Figura 4. Inquadramento idrogeologico- Unità idrogeologiche principali 14
Figura 5. Ubicazione spaziale corpi idrici fluviali e lacustri, relative stazioni di monitoraggio 18
Figura 6. Schema di identificazione delle unità di bilancio o corpo idrico (d.lgs. 152/2006) 24
Figura 7. Rete di monitoraggio delle acque sotterranee quadriennio di riferimento 2021-2024 25
Figura 8. Rappresentazione punti non conformi agli SQ nel sessennio di riferimento 2015-2020 28
Figura 9. Rappresentazione punti non conformi agli SQ quadriennio 2021-2024 30
Figura 10. Rappresentazione spaziale dei punti con superamento degli SQ per metalli, ione ammonio, nitrati, pesticidi e composti alifatici 30
Figura 11. Stato quantitativo sessennio 2015-2020 31
Figura 12. Diagramma di Piper DQ009. A sx dati 1° semestre e a dx dati 2° semestre (dati 2022) 32
Figura 13. Pressioni puntuali su corpi idrici fluviali e lacustri nel bacino del Sacco da scarichi depuratori urbani, scolmatori, sollevamenti, e impianti AIA censiti e da impianti idroelettrici ..... Fonte:https://sira.arpalazio.it/ 33
Figura 14. Pressioni diffuse da suoli ad uso agricolo. Incidenza % su corpi fluviali e lacustri nel bacino del Sacco e su corpo idrico sotterraneo: Fonte https://sira.arpalazio.it/ 34
Figura 15. Pressioni puntuali da presenza di siti contaminati e da discariche su corpi idrico lacustre e sotterraneo e su corpi idrici fluviali. Pressioni puntuali da prelievi per captazioni da corpi idrici superficiali e sotterranei. Fonte https://sira.arpalazio.it/ 35
Figura 16. Perimetrazione della zona "Valle del Sacco" e ubicazione stazioni di monitoraggio 40
Figura 17. Andamento mensile del contributo percentuale di ciascuna centralina alla concentrazione di PM_{10} nella Valle del Sacco 45
Figura 18. Andamento mensile del contributo percentuale di ciascuna centralina al numero di Superamenti del valore limite giornaliero di PM_{10} nella Valle del Sacco 46
Figura 19. Numero di superamenti del PM_{10} di ciascuna centralina per anno 48
Figura 20. Andamento dei superamenti del PM_{10} di ciascuna centralina per anno 48
Figura 21. Media annua del PM_{10} di ciascuna centralina per anno 49
Figura 22. Andamento della media annua del PM_{10} di ciascuna centralina per anno 49
Figura 23. Media annua del $PM_{2.5}$ di ciascuna centralina per anno 50
Figura 24. Andamento della media annua del $PM_{2.5}$ di ciascuna centralina per anno 50
Figura 25. Distribuzione spaziale della media annua di PM_{10} nel 2024 55
Figura 26. Distribuzione spaziale del numero di superamenti di 50 $\mu g/m^3$ di PM_{10} nel 2024 55
Figura 27. Distribuzione spaziale della media annua di $PM_{2.5}$ nel 2024 56
Figura 28. Caratteristiche orografiche della zona Valle del Sacco 61
Figura 29. Perimetrazione SIN Bacino del Fiume Sacco 63
Figura 30. Procedimenti di bonifica in corso 65
Figura 31 Procedimenti di bonifica conclusi 65
Figura 32. Stato dei procedimenti a fine 2024 68
Figura 33. Distribuzione dei procedimenti di bonifica nei vari comuni del SIN 69
Figura 34. Distribuzione dei campioni di suolo con superamenti di metalli pesanti in aree industrializzate 71
Figura 35. Distribuzione dei campioni di suolo con superamenti di metalli pesanti in aree non industrializzate 71
Figura 36. Distribuzione delle contaminazioni da solventi clorurati nelle acque sotterranee 73

LEGENDA

BTEX	Benzene, toluene, etilbenzene, xileni
C_6H_6	Benzene
Cmax	Concentrazione massima
CO	Monossido di carbonio
CSC	Concentrazione Soglia di Contaminazione
del.giunta.reg.	Deliberazione della Giunta Regionale
d.lgs.	Decreto Legislativo
d.m.	Decreto Ministeriale
I	Centralina industriale
IPA	Idrocarburi policiclici aromatici
MISO	Messa in Sicurezza Operativa
MISP	Messa in Sicurezza Permanente
NO_2	Biossido di azoto
NO_X	Ossidi di azoto
O_3	Ozono
PM_{10}	Particolato con particelle con a.d. < 10 µm
$PM_{2.5}$	Particolato con particelle con a.d. < 2.5 µm
RB	Centralina rurale di fondo
SB	Centralina suburbana di fondo
SIN	Sito di Interesse Nazionale
SO_2	Biossido di zolfo
ST	Centralina suburbana di traffico
UB	Centralina urbana di fondo
UT	Centralina urbana di traffico
VFN	Valori di Fondo Naturali
EQB	Elementi di Qualità Biologica
CIS	Corpo Idrico Sotterraneo
CI	Corpo Idrico Superficiale
SE	Stato Ecologico
SC	Stato Chimico
DQA	Direttiva Quadro Acque

PRESENTAZIONE

La Valle del fiume Sacco rappresenta uno dei territori più complessi e delicati del Lazio dal punto di vista ambientale. Le pressioni storiche che hanno interessato il territorio, unite alle sue peculiari caratteristiche morfologiche, richiedono un'attività di monitoraggio continua, un'elevata capacità di analisi e un solido supporto tecnico alle istituzioni chiamate a pianificare e attuare gli interventi di tutela e risanamento.

Con questa pubblicazione, l'ARPA Lazio mette a disposizione un quadro aggiornato dello stato dell'ambiente nella Valle del Sacco, frutto delle attività di monitoraggio e controllo svolte dall'Agenzia su acque, aria e suolo. Il Report restituisce una lettura integrata dei dati raccolti, contribuendo a una conoscenza più approfondita delle dinamiche ambientali che caratterizzano questo territorio.

La conoscenza rappresenta il presupposto indispensabile per orientare le decisioni e valutare l'efficacia delle azioni di risanamento. È con questo spirito che l'ARPA Lazio continua a svolgere il proprio ruolo di presidio tecnico-scientifico al servizio delle istituzioni e dei cittadini, nella convinzione che trasparenza, rigore scientifico e condivisione delle informazioni siano elementi essenziali per accompagnare il percorso di tutela e valorizzazione della Valle del Sacco.

Tommaso Aureli
Direttore generale ARPA Lazio

1. INTRODUZIONE

In qualità di ente pubblico di natura tecnica, l'Agenzia ha il ruolo di garantire la protezione dell'ambiente e della salute umana, assicurare che le risorse e i servizi naturali siano utilizzati in modo quanto più possibile sostenibile e contribuire a una sostenibile crescita economica.
Con un organico di circa 500 persone dislocate in tutto il territorio del Lazio, dalle aree interne alle zone costiere, l'ARPA Lazio effettua una costante attività di valutazione della qualità dell'ambiente nel territorio della regione, attraverso il monitoraggio dello stato delle matrici ambientali, e utilizza i risultati delle proprie attività tecniche per fornire il proprio supporto alle amministrazioni pubbliche, al mondo produttivo e al pubblico in materia di buone pratiche ambientali.

Tra le attività demandate all'ARPA Lazio rientrano:

- attività di monitoraggio e controllo finalizzata alla tutela ambientale delle risorse idriche superficiali e sotterranee e dell'ecosistema acqua, supporto tecnico alla Regione e attività di vigilanza e controllo nell'ambito di progetti, segnalazioni o esposti; oggetto di monitoraggio e controllo sono tutti i corpi idrici significativi atti a descrivere lo stato qualitativo del reticolo idrico naturale superficiale e sotterraneo, delle acque a specifica destinazione (destinate alla potabilizzazione, idonee alla vita di molluschi e pesci, di balneazione) e delle acque inscritte nelle aree richiedenti specifiche misure di prevenzione dall'inquinamento e di risanamento, come le zone vulnerabili da nitrati di origine agricola e da prodotti fitosanitari;

- supporto alla Regione nelle attività di monitoraggio della qualità dell'aria, con la gestione della rete regionale di centraline di rilevamento fisse, con la realizzazione di campagne periodiche effettuate con mezzi mobili nelle zone del territorio regionale potenzialmente critiche, con l'uso di modelli di simulazioni di dispersione degli inquinanti, attraverso i quali garantisce la valutazione della qualità dell'aria sull'intero territorio regionale e la sua previsione a diverse cadenze temporali;

- vigilanza e controllo tecnico per l'individuazione dei siti contaminati, verifica dell'effettivo stato di contaminazione di un sito, dell'efficacia degli interventi di bonifica, valutazione di documentazione tecnica e/o di elaborati progettuali inerenti a procedimenti di bonifica, utilizzazione agronomica di effluenti di allevamento, fanghi di depurazione, digestato e acque di vegetazione di frantoi oleari, riutilizzo di terre e rocce da scavo, ripascimento dei litorali costieri e lacustri.

L'Agenzia, sulla base dei dati raccolti attraverso le attività di monitoraggio e controllo, contribuisce alla conoscenza del territorio e dello stato di salute dell'ambiente con la pubblicazione di prodotti informativi (dati, elaborazioni, proiezioni) che costituiscono uno degli strumenti necessari per affrontare le sfide legate alla sostenibilità, alla tutela delle risorse naturali e al miglioramento della qualità della vita per tutti. Questo report si propone di assolvere a tale funzione, a servizio dei decisori pubblici, dei corpi intermedi e dei cittadini, rappresentando sinteticamente, in termini qualitativi e quantitativi, lo stato ambientale dell'area denominata "Valle del Sacco", aggiornato all'anno 2024 e alle matrici aria, acqua e suolo.

2 Inquadramento territoriale

La Valle Latina è un'ampia regione geografica situata nel Lazio centrale e sud-orientale, che si estende dai Colli Albani fino a Cassino. È tradizionalmente suddivisa in tre aree principali:

- Alta Valle Latina: corrisponde all'area dei Colli Albani, caratterizzata da un paesaggio collinare di origine vulcanica.
- Media Valle Latina: identifica storicamente la valle del fiume Sacco, un territorio segnato da dolci colline e pianure fertili, attraversato dal corso del fiume e dominato dagli scenari dei Monti Prenestini, Lepini ed Ernici.
- Bassa Valle Latina: coincide con la valle del fiume Liri, che si estende fino a Cassino, al confine con la Campania.

La Valle del Sacco, situata nel Lazio meridionale, con una superficie di circa settemila ettari, ricade nell'ampia depressione tettonica della Valle Latina, delimitata a sud/est dall'esteso fronte di scorrimento dei Monti Lepini, appartenenti alla fascia del pre-Appennino centrale, e a nord/ovest dalla struttura di Macchia di Anagni (Monte Trave) e Monti Simbruini-Ernici. Nel perimetro sono compresi i territori (o parte degli stessi) dei comuni di Anagni, Arce, Artena, Castro dei Volsci, Ceccano, Ceprano, Colleferro, Falvaterra, Ferentino, Frosinone, Gavignano, Morolo, Paliano, Pastena, Patrica, Pofi, Segni, Sgurgola, Supino.

Secondo i dati più recenti disponibili, riferiti al 2024, la popolazione totale della Valle del Sacco è di circa 200.000 abitanti.

2.1 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico

Dal punto di vista geologico la Valle del Sacco è una depressione di tipo graben, delimitata da horst tettonici: i Monti Lepini a ovest e la dorsale dei Monti Ernici a est. Il substrato è costituito dalla piattaforma carbonatica laziale-abruzzese, con una successione calcarea dal Trias al Cretaceo Superiore. Sopra questa si trovano calcareniti organogene e depositi argilloso-sabbiosi del Miocene Superiore, collegati a depositi lacustri con facies travertinose. Al di sopra delle formazioni mioceniche affiorano vulcaniti quaternarie intercalate a depositi alluvionali, che rappresentano le litologie tipiche dell'area di studio. Sono presenti anche torbiditi arenacee e argillose in strati spessi, tipici della valle. L'area è stata interessata da attività vulcanica pleistocenica con apparati vulcanici come Piglione, con colate di leucitite e coni vulcanici.

Dal punto di vista geomorfologico l'assetto è caratterizzato da rilievi collinari con pendenze medio-alte, impostati su arenarie spesse amalgamate e prodotti vulcanici piroclastici. La valle presenta un ampio fondovalle alluvionale, con quote tra 100 e 250 m s.l.m., caratterizzato da superfici suborizzontali e basse acclività, interrotte da incisioni fluviali del Fiume Sacco e suoi affluenti. Sono presenti depressioni circolari di origine carsica, alcune ancora occupate da piccoli laghi o bacini lacustri, con depositi lacustri sopra travertini.

Dal punto di vista idrogeologico la Valle del Sacco è una depressione tettonica con un complesso substrato carbonatico e vulcanico, caratterizzata da rilievi collinari e un ampio fondovalle alluvionale, con un sistema idrogeologico articolato tra acquiferi carbonatici e vulcanici, controllati da livelli impermeabili argillosi e da una rete fluviale attiva.

La valle rientra nel bacino del Fiume Sacco, che scorre con andamento NW-SE a quote medie intorno a 410 m s.l.m. Sono presenti acquiferi sia nei depositi vulcanici che nei substrati carbonatici; tuttavia le marne e argille presenti fungono da livelli impermeabili che tamponano lateralmente le falde acquifere. L'idrogeologia è influenzata dalla presenza di depositi alluvionali pleistocenico-olocenici e dalla rete idrografica che incide il fondovalle.

3. LA QUALITÀ DELL'AMBIENTE NELLA VALLE DEL SACCO

L'inquinamento delle matrici suolo/sottosuolo, acque superficiali e sotterranee è il risultato di decenni di attività industriali inquinanti, smaltimenti illeciti di rifiuti tossici e sversamenti nei corsi d'acqua. Il territorio è caratterizzato da contaminazioni da sostanze organiche persistenti come beta-esaclorocicloesano (β-HCH), arsenico, metalli pesanti e fitofarmaci, che interessano sia le acque superficiali che il suolo. La bonifica, affidata inizialmente a commissari straordinari e poi alla Regione Lazio, ha subito ritardi significativi, rallentando il risanamento del territorio. Le principali problematiche ambientali sono, altresì, riconducibili alla presenza di solventi clorurati nelle acque sotterranee, oltre che alla presenza di metalli e metalloidi nei suoli e nelle acque sotterranee. Le caratteristiche geologiche e geochimiche dei terreni costituenti il SIN portano, per propria natura (origine vulcanica), alla necessità di definire i valori di fondo naturale di taluni elementi, spesso ritrovati con concentrazioni superiori alle concentrazioni soglia di contaminazione fissate dalla tabella I e II, allegato 5, parte IV, titolo V del d.lgs. 152/2006. Per tale ragione, l'atto integrativo (decreto n. 62 dell'11.05.2021) dell'accordo di programma 12 marzo 2019, sottoscritto tra il MASE e la Regione Lazio, prevede l'intervento per la definizione dei valori di fondo naturale per i terreni e le acque sotterranee ricomprese nel perimetro del SIN.

Per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico, la qualità dell'aria nella Valle del Sacco rimane una delle più critiche del Lazio, con concentrazioni di PM_{10} e $PM_{2.5}$ che rappresentano la criticità più rilevante, evidenziando la persistente necessità di strategie integrate per ridurre le emissioni inquinanti, soprattutto nei centri urbani più esposti come Ceccano, Colleferro, Cassino e Frosinone. La conformazione geografica della valle ostacola la dispersione degli inquinanti atmosferici, aggravando la situazione.

Alla luce di quanto sopra esposto, considerate le diverse matrici ambientali oggetto di approfondimento e le relative peculiari sensibilità, non è possibile definire un'area territoriale univoca quale oggetto delle analisi effettuate nel Report.

Nell'immagine seguente (Figura 1) sono rappresentate le diverse aree territoriali considerate per le acque, il suolo e l'aria.

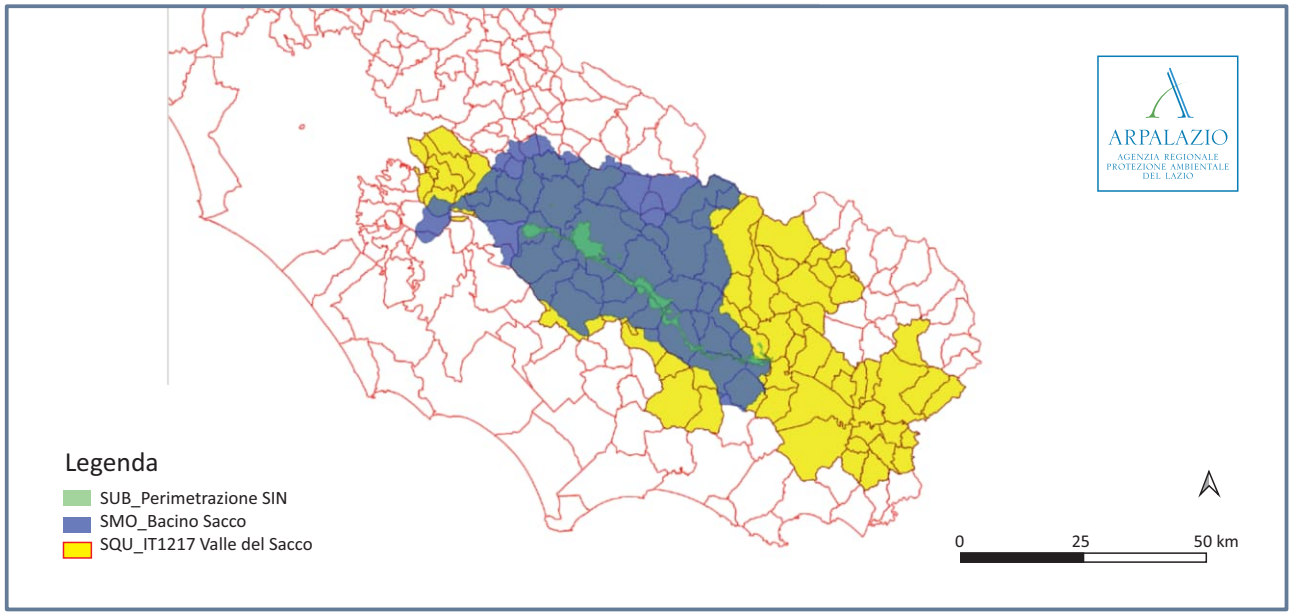


Figura 1. Aree territoriali considerate per lo studio delle matrici ambientali acqua, aria e suolo nella Valle del Sacco.

3.1 ACQUE

3.1.1 Idrografia ed idrogeologia della Valle del Sacco

Per la componente idrica si distingue preliminarmente l'area definita dal reticolo idrografico del Bacino del Fiume Sacco e l'area ricadente nel Complesso idrogeologico dell'Unità terrigena delle valli dei Fiumi Sacco, Liri e Garigliano (Figura 2).

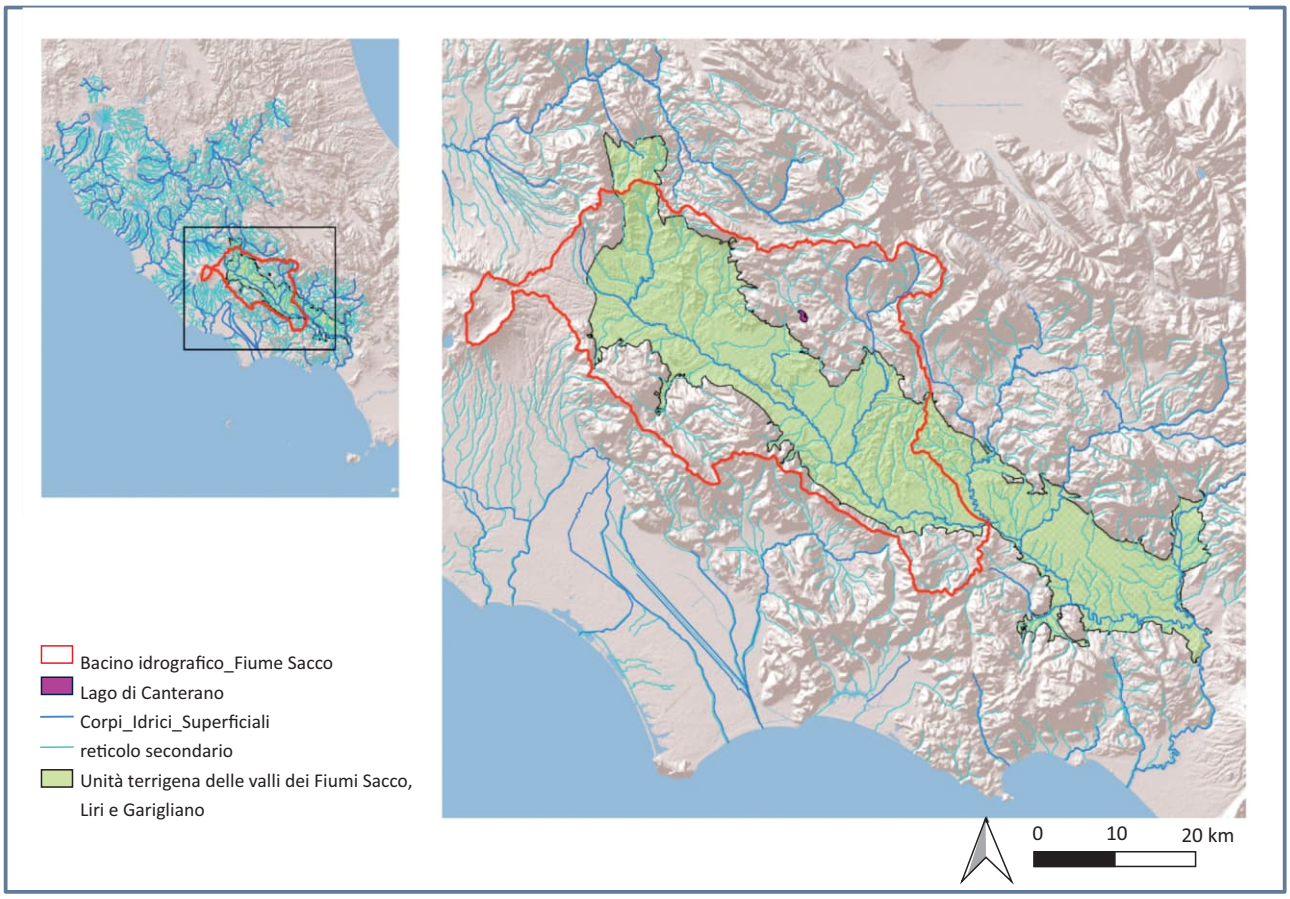


Figura 2. Delimitazione del bacino idrografico ed idrogeologico

Il bacino del Fiume Sacco rientra nel complesso idrografico del Liri-Garigliano, che comprende i territori del bacino del Fiume Liri e del Fiume Garigliano, ricadenti all'interno del Distretto idrografico dell'Appennino Meridionale.
Con una portata media annua di circa 16 m3/sec, il bacino rappresenta il principale tributario di destra del Liri medio-corso, occupando un'area di circa 1534,56 km2 e la cui asta principale scorre per circa 85 Km attraversando il territorio di 19 comuni tra le province di Roma e Frosinone (Figura 2). Il Sacco, nasce sul versante orientale dei Monti Prenestini dall'unione del Fosso della Valle e del Fosso Palomba a Colle Cero, scorrendo poi verso sud-est lungo la Valle Latina, tra i Monti Ernici a nord-est e i Monti Lepini a sud-ovest e confluendo infine nel Fiume Liri.
Il bacino idrografico del Fiume Sacco risulta suddiviso in unità fisiografiche in parte montuose e in parte collinari, con versanti da molto a mediamente acclivi e in un'ampia unità di pianura rappresentata dall'omonima Valle.

Sono 3 i sottobacini afferenti (Figura 3):

- sottobacino del Fosso Savo o Centogocce, che si estende in provincia di Roma, la cui asta fluviale ha una lunghezza di 25,5 km e origine dall'apparato vulcanico dei Colli Albani;

- sottobacino del Torrente Alabro, piccolo corso d'acqua della Ciociaria lungo appena 16 km, che nasce dal monte Capua (722 m) e nel suo corso lambisce il territorio di Anagni e Ferentino risultando in diversi tratti regimentato da argini artificiali;

- sottobacino del Fiume Cosa, lungo 35 km, nasce dai monti Ernici ed è alimentato dalle sorgenti, in provincia di Frosinone, di Capofiume, nel territorio di Collepardo, e di Capocosa, nel territorio di Guarcino; scorre in larga parte nei territori di Guarcino, Alatri e Frosinone e confluisce nel Fiume Sacco a Ceccano.

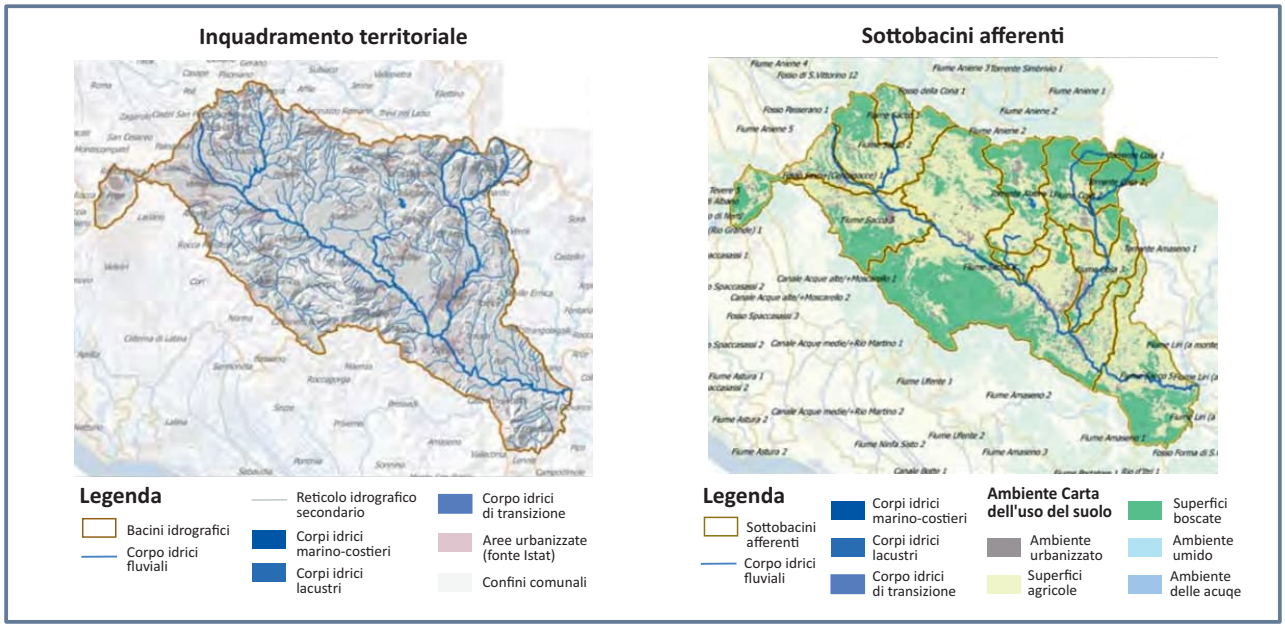


Figura 3. Bacino idrografico del Fiume Sacco e sottobacini afferenti (carta con bacino e sottobacini e comuni, corpi idrici e reticolo)

Nel sottobacino del Fiume Cosa è collocato il Lago di Canterno, originato sul versante meridionale dei Monti Ernici, in provincia di Frosinone, circondato dai territori comunali di Fumone, Ferentino, Trivigliano, Torre Cajetani e Fiuggi. Con una superficie di circa 0.6 km^2 è il più grande dei laghi carsici del Lazio. Il lago si sviluppa all'interno di una depressione carsica o dolina caratterizzata nella porzione meridionale, alle pendici del Monte Maino, dalla presenza di un inghiottitoio naturale che in passato provocava, ostruendosi e liberandosi, ciclici svuotamenti della conca lacustre. A partire dalla seconda metà del '900 il volume di acqua all'interno del bacino lacustre è stato artificialmente reso perenne mediante posizionamento di una torretta di sfioro in corrispondenza dell'inghiottitoio, che funge da sbarramento e viene utilizzata come opera di presa a scopo idroelettrico. Alla torretta di presa è collegata una tubazione che prosegue in una galleria scavata in modo da attraversare il Monte Maino e raggiungere il versante del Monte delle Carceri, dal quale poi c'è il salto di circa 300 m fino alla centrale idroelettrica "Enrico Parisi" collocata nel comune di Ferentino.

Il lago ha una profondità massima attualmente misurata dall'ARPA intorno ai 13 metri, escludendo la porzione più profonda nell'intorno dell'inghiottitoio. Il volume di invaso del lago è dipendente dalla variabilità delle precipitazioni e dai limitati afflussi derivanti dal Fosso del Diluvio, che drena la porzione del bacino lacustre a nord-ovest e del Fosso Cese, che risulta ad oggi in larga parte intubato fino al lago e che convoglia sia le acque derivanti dal fiume Cosa che quelle fatte convogliare dai cosiddetti Pantani Lattanzi, ovvero delle piccole conche collocate a est del lago e le cui acque vengono derivate per alimentare ulteriormente il bacino lacustre.

Il bacino del Sacco drena le idrostrutture carbonatiche del Sistema dei Monti Sabini p.p., Prenestini, Cornicolani e Ruffi (appartenente al complesso idrogeologico della sedimentazione di transizione tra piattaforma carbonatica e bacino), del Gruppo dei Monti Simbruini, Ernici, Monte Cairo, Monte Camino, Mainarde e Monte Cesima e del Sistema dei Monti Lepini (appartenenti entrambe al complesso idrogeologico della sedimentazione di piattaforma carbonatica). Inoltre, nel tratto iniziale sono presenti anche apporti provenienti dal versante sud-orientale del Sistema dei Colli Albani, appartenente al complesso idrogeologico delle vulcaniti. La Valle Latina interamente percorsa dal fiume Sacco, è colmata da terreni flyschoidi a bassa permeabilità che, grazie all'intenso ruscellamento, conferiscono al fiume un regime di portata piuttosto variabile. D'altro canto la bassa permeabilità dei flysch contribuisce a mitigare l'inquinamento delle falde idriche profonde, pesantemente minacciate dagli elevati tassi di sostanze inquinanti presenti nella Valle del Sacco.

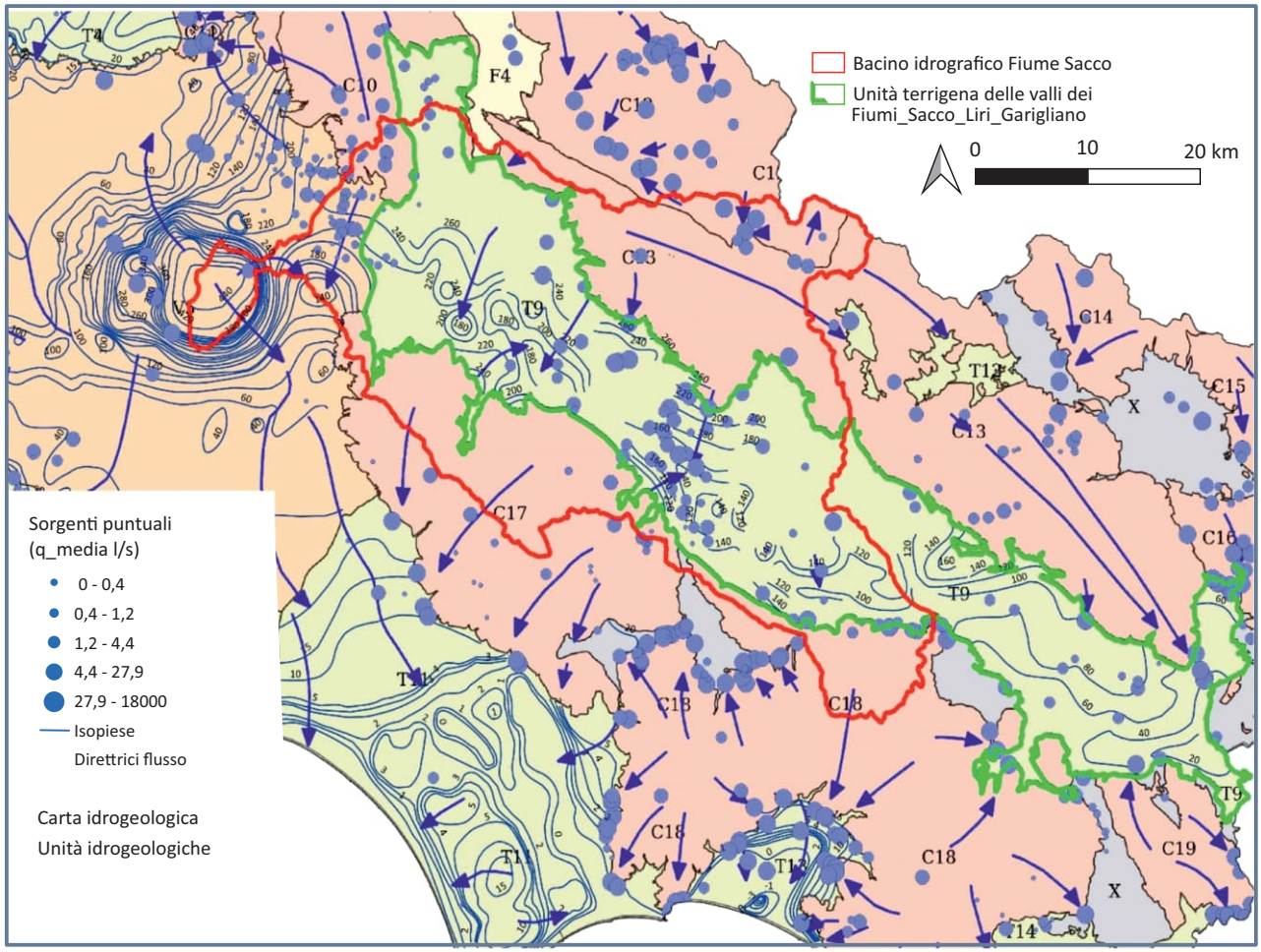


Figura 4. Inquadramento idrogeologico - Unità idrogeologiche principali

Il complesso idrogeologico del corpo idrico sotterraneo *Unità terrigena delle valli dei Fiumi Sacco, Liri e Garigliano* (DQ009 del Piano di Tutela delle Acque – PTAR), occupa un'area che coincide quasi totalmente con la Valle Latina. Si presenta in forma allungata e interessa un'area molto vasta, 1205,15 km^2, fino a raggiungere i confini con la regione Campania. Numerose sono le sorgenti che bordano il contatto tra i rilievi montuosi carbonatici e la Valle stessa, determinando locali travasi al suo interno. Le principali sorgenti alimentate da questo sistema sono di tipo lineare, per opera del drenaggio operato dai principali torrenti e fiumi nei tratti in cui incontrano la tavola d'acqua. La circolazione idrica sotterranea è fortemente condizionata dalle differenti permeabilità delle litologie quaternarie e dalla variabilità delle quote del substrato marnoso-arenaceo.

3.1.2 Il monitoraggio delle acque

La direttiva quadro in materia di acque 2000/60/CE recepita in Italia con la parte terza del testo unico ambientale, d.lgs. 152/06, prevede la salvaguardia, il miglioramento e il ripristino delle acque superficiali e sotterranee al fine di raggiungere un "buono" stato ambientale delle stesse, inteso come qualità della struttura e del funzionamento degli ecosistemi acquatici e di quelli terrestri ad essi direttamente collegati. La tutela delle risorse idriche prevede altresì la preservazione dal punto di vista quantitativo mediante politiche di utilizzo sostenibile della risorsa a lungo termine e la protezione dell'ambiente acquatico attraverso una graduale riduzione di scarichi ed emissioni nelle acque derivanti dalle attività antropiche.

In base alla normativa vigente l'obiettivo ambientale prioritario consiste nel raggiungimento dello stato buono per tutti i corpi idrici monitorati entro il 2027. Il monitoraggio dei corpi idrici, superficiali e sotterranei, svolto dall'ARPA Lazio è legato alla durata sessennale del Piano di tutela regionale e dei Piani di gestione distrettuali delle acque nel quadro degli obiettivi previsti dalla Comunità europea e, fornendo la base conoscitiva sullo stato ambientale delle acque, risulta centrale per supportare la programmazione delle misure che devono concorrere al raggiungimento /mantenimento degli obiettivi ambientali a livello europeo.

Lo stato ambientale per le acque superficiali viene attribuito valutando complessivamente lo 'stato ecologico' e lo 'stato chimico': lo stato di qualità dei corpi idrici superficiali viene definito dal valore più basso tra lo stato ecologico e lo stato chimico. Per le acque sotterranee le valutazioni si basano sullo stato chimico e sullo 'stato quantitativo'.

In base all'allegato 1 parte terza del d.lgs. 152/06 e ss.mm.ii., il monitoraggio è finalizzato alla valutazione dello stato di qualità delle acque attraverso un sistema di classificazione che per lo stato ecologico risulta strutturato in cinque classi di qualità (elevato, buono, sufficiente, scarso e cattivo), ciascuno rappresentato convenzionalmente da un colore come riportato in Tabella 1.

Tabella 1. Sistema di classificazione dello stato ecologico ai sensi del d.lgs. 152/06.

Classe di qualità	Giudizio di qualità	Colore convenzionale
1	Elevato	
2	Buono	
3	Sufficiente	
4	Scarso	
5	Cattivo	

Lo stato ecologico viene espresso per tutti i corpi idrici naturali mentre viene definito il 'potenziale ecologico' per i corpi idrici fortemente modificati, cioè quei corpi idrici che hanno subito profonde alterazioni idromorfologiche e, a causa di queste, non sono più in grado di raggiungere lo stato ecologico buono (d.d. 341/STA del 30 maggio 2016).

Per classificare lo stato chimico delle acque superficiali occorre fare riferimento agli inquinanti presenti nell'elenco di priorità (tab. 1/A e tab 1/B del d.lgs. 172/2015) e valutarne le concentrazioni media e massima annuali al fine di verificare il rispetto degli standard di qualità ambientale (SQA) previsti dal decreto stesso. La scelta delle sostanze da ricercare avviene mediante valutazione delle pressioni e degli impatti e dell'eventuale presenza nei cicli di monitoraggio pregressi. In conformità a quanto riportato nel d.m. 260/2010, la rappresentazione cromatica convenzionale per lo stato chimico segue quanto indicato nella Tabella 2 .

.

Tabella 2. Sistema di classificazione dello stato chimico ai sensi del d.lgs. 152/06.

Giudizio di qualità	Colore convenzionale
Buono	
Non Buono	

Per quanto riguarda le acque sotterranee, tutte le disposizioni normative (direttiva comunitaria WFD 2000/60/CE, direttiva 2006/118/CE, d.lgs. 152/2006, d.lgs. 30/2009, d.m. 260/2010, d.m. 6/07/2016) sono tese ad assicurare la preservazione della risorsa dall'inquinamento e dal depauperamento delle risorse in termini sia quantitativi che qualitativi, con l'obiettivo di raggiungere il 'buono' stato chimico delle acque sotterranee.

Facendo riferimento alle disposizioni di cui al punto B dell'allegato 1 alla parte terza del d.lgs. 152/2006, così come modificate ed integrate in particolare dal d.lgs. 30/2009 e dal d.m. 6 luglio 2016, la classificazione dello stato chimico delle acque sotterranee si basa sulla verifica del rispetto degli SQA e dei valori soglia definiti a livello nazionale. Il superamento dei valori soglia, anche per un solo parametro, è indicativo del rischio di non raggiungere lo stato buono e può determinare la classificazione del corpo idrico in stato chimico 'scarso'.

Per quanto riguarda il buono stato quantitativo (secondo la definizione della WFD), esso viene valutato sulla scorta del "livello delle acque sotterranee". Per quanto attiene alla definizione dello 'stato quantitativo' si recepisce il dato indicato nel Piano di gestione acque III ciclo (2021-2027) del Distretto idrografico dell'Appennino Meridionale approvato in via definitiva con d.p.c.m. del 27 giugno 2023 – G.U. n. 214 del 13/09/2023.

3.1.3 Rete di monitoraggio regionale dei corpi idrici superficiali nel bacino del Sacco

La rete di monitoraggio delle acque superficiali della regione Lazio, in attuazione della normativa vigente, prevede la suddivisione del reticolo idrografico in corpi idrici ovvero elementi fluviali, lacustri, di transizione e marino costieri, significativi (aventi un bacino idrografico ≥ 10 km^2) e omogenei per caratteristiche fisiche, chimiche e geologiche. Su di essi è stato attuato il processo di tipizzazione che, in applicazione del sistema B dell'allegato II alla direttiva 2000/60/CE e ai sensi del d.m. 131/2008 e ai sensi della direttiva 2000/60/CE, permette a livello europeo di fare capo a un medesimo sistema di classificazione basato su valori di riferimento uniformi, intercalibrati a livello comunitario, che vengono impiegati nel calcolo degli indici ambientali e che pertanto permettono di confrontare dati provenienti anche da Paesi diversi.

In riferimento a quanto sopra la Regione Lazio con del.giunta.reg. n. 77 del 2 marzo 2020 ha approvato l'attuale rete di monitoraggio delle acque superficiali revocando la precedente rete emanata con del.giunta.reg. n. 44/2013.

Di seguito (Tabella 3) è riportato l'elenco dei corpi idrici fluviali nel Bacino del Fiume Sacco afferenti alla rete di monitoraggio delle acque superficiali ai sensi della del.giunta.reg. 77/2020 comprendente 11 corpi idrici, di cui 8 naturali e 3 fortemente modificati. Nel bacino del Sacco sono considerati altresì 2 corpi idrici naturali presenti in ambito montano.

Sulla base dell'analisi delle pressioni antropiche e dei dati storici, ad ogni corpo idrico è assegnata una categoria di rischio che ha portato alla scelta di una tipologia di monitoraggio (sorveglianza/operativo/nucleo) con campionamenti per l'analisi degli elementi chimico-fisici, chimici e biologici a frequenza variabile e set analitici diversificati a seconda del punto di campionamento. Il monitoraggio degli elementi chimico e chimico-fisici all'interno del sessennio viene condotto, come previsto dalla norma, per un anno nel monitoraggio di sorveglianza e ogni anno nel monitoraggio operativo; il monitoraggio biologico è invece eseguito su base triennale (1/3 anni) per la rete operativa e secondo il ciclo sessennale (1/6 anni) per la rete di sorveglianza, seguendo le frequenze annuali previste per ciascun EQB in base all'allegato 1 del d.m. 260/2010 e secondo un criterio di "stratificazione" delle attività per bacini o sottobacini idrografici.

Nel sessennio 2015-2020, n. 10 corpi idrici sono stati sottoposti a monitoraggio operativo, n. 1 in monitoraggio di sorveglianza e per n. 2 si è fatto ricorso al cosiddetto "giudizio esperto".

Tabella 3. Rete di monitoraggio corpi idrici fluviali bacino del Fiume Sacco. N.D. si riferisce ai corpi idrici monitorati con G.E.

CODICE EU CORPO IDRICO	NOME CORPO IDRICO	TIPOLOGIA	CODICE REGIONALE STAZIONE	PROGRAMMA MONITORAGGIO 2021-2026
IT12N005_SAVO1_14SS1T	Fosso Savo (Centogocce) 2	Naturale	F4.16	Operativo
IT12N005_SAVO2_14SS2T	Fosso Savo (Centogocce) 1	Naturale	N.D.	GE
IT12N005_SACCO1_14SS1T	Fiume Sacco 1	Naturale	F4.75	Operativo
IT12N005_SACCO2_14SS2T	Fiume Sacco 2	Naturale	F4.15	Operativo
IT12N005_SACCO3_15SS3D	Fiume Sacco 3	Naturale	F4.76	Operativo
IT12N005_SACCO4_13SS3T	Fiume Sacco 4	Naturale	F1.69	Operativo
IT12N005_SACCO5_13SS4T	Fiume Sacco 5	Naturale	F1.68	Operativo/Nucleo
IT12N005_ALABRO1_13SS1T	Torrente Alabro 1	Fortemente Modificato	F1.74	Operativo
IT12N005_ALABRO2_13SS2T	Torrente Alabro 2	Fortemente Modificato	F1.36	Operativo
IT12N005_TCAPOFIUME2_13SS2T	Torrente Capofiume 2	Naturale	F1.37	Sorveglianza/Nucleo
IT12N005_FCOSA1_13SR6T	Fiume Cosa 1	Naturale	N.D.	GE
IT12N005_FCOSA2_13SS2T	Fiume Cosa 2	Naturale	F1.80	Operativo
IT12N005_FCOSA3_13SS3T	Fiume Cosa 3	Fortemente Modificato	F1.75	Operativo

Per quanto concerne il corpo idrico lacustre di Canterno (Tabella 4), l'attuale tipizzazione non descrive esaustivamente le caratteristiche di questo lago carsico del bacino del Sacco, sul quale insiste un'opera di presa che ne altera, di fatto, la naturale dinamica. Il lago risulta appartenere alla tipologia ME4: laghi mediterranei / prof.media ≥ 15 m / calcarei.

Tabella 4. Rete di monitoraggio corpi idrici lacustri nel bacino del Sacco

CODICE EU CORPO IDRICO	NOME CORPO IDRICO	TIPOLOGIA	CODICE REGIONALE STAZIONE	PROGRAMMA MONITORAGGIO 2015-2020 E 2021-26
IT12N005_CANTERNO_ME4	Lago di Canterno	Naturale	L 1.30	Operativo / Nucleo

A partire dal sessennio 2015-2020 il corpo idrico lacustre è stato sottoposto a programma di monitoraggio operativo e rientra nei corpi idrici della Rete nucleo.
Nell'immagine seguente (Figura 5) si riportano le ubicazioni spaziali dei corpi idrici superficiali e delle rispettive stazioni di monitoraggio.

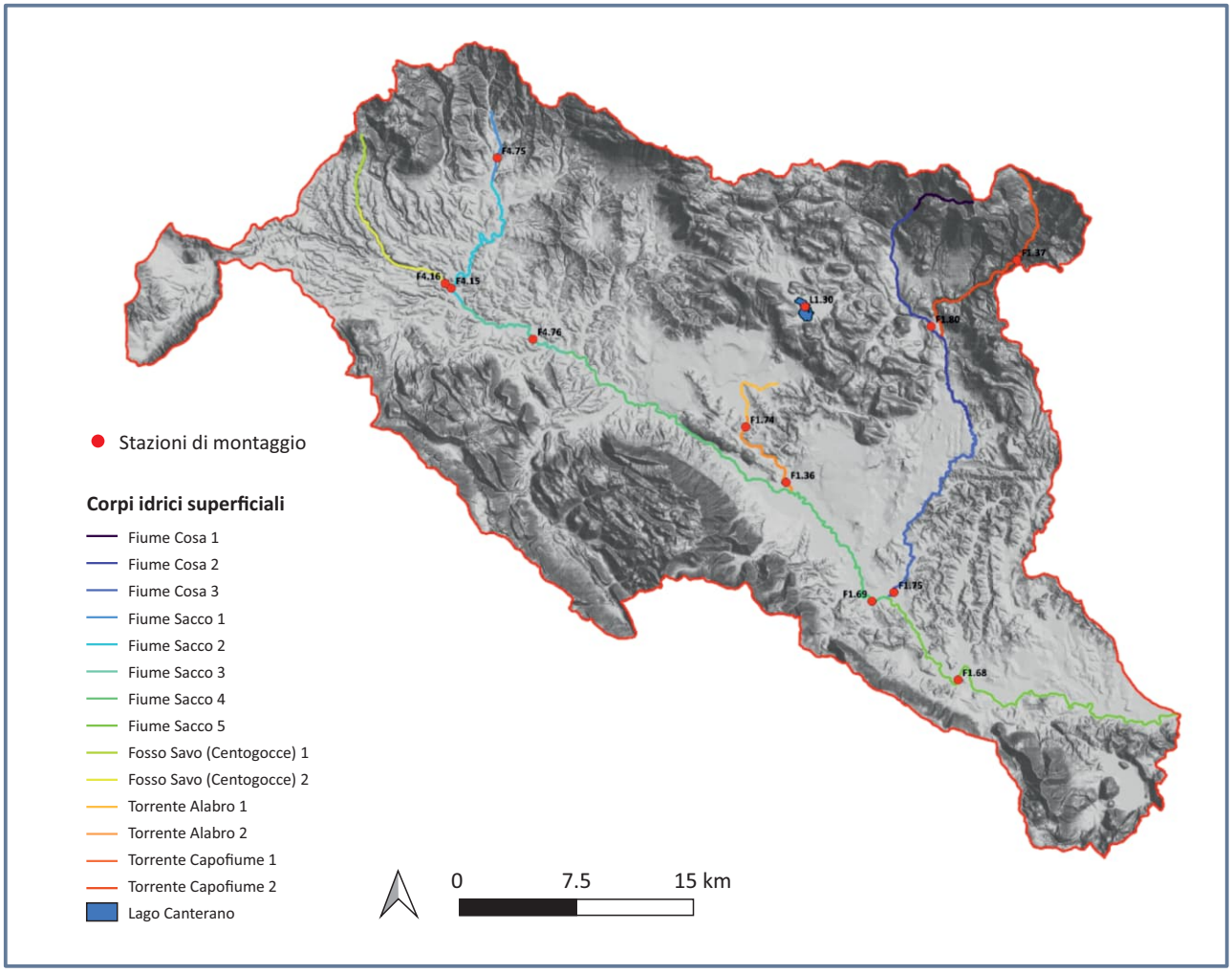


Figura 5. Ubicazione spaziale corpi idrici fluviali e lacustri, relative stazioni di monitoraggio.

3.1.4 Qualità ambientale delle acque superficiali

La classificazione dello stato ecologico e dello stato chimico dei corpi idrici superficiali viene definita a valle del ciclo sessennale di monitoraggio con valutazioni intermedie riferite ai due trienni che lo compongono. Attualmente il sessennio di riferimento è il 2021-2026, entro il quale sono stati formulati i giudizi di stato per il triennio 2021-2023 mentre per il triennio successivo i dati relativi all'annualità 2024 possono essere intesi come dati di trend di stato a valere sul triennio 2024-2026.

3.1.4.1. Stato ecologico

Per i corpi idrici fluviali di cui alla Tabella 3 la classificazione dello stato ecologico deriva dal peggiore dei giudizi ottenuti sugli elementi di qualità biologici, chimico-fisici e chimici.

Alla classificazione dello stato ecologico dei fiumi concorrono i seguenti elementi di qualità:

- Elementi di Qualità Biologica (EQB)
  - comunità dei macroinvertebrati bentonici (STARicmi);
  - diatomee bentoniche (indice ICMi)
  - macrofite (IBMR)
  - fauna ittica (NISECI)
- Livello di Inquinamento da Macrodescrittori (LIMeco)
- Elementi chimici a sostegno (tab 1B d.m. 172/2015)
- Elementi idromorfologici.

Gli elementi di qualità biologica (EQB) descrivono lo stato dell'ecosistema acquatico dal punto di vista biotico ai diversi livelli della catena trofica. Concorrono alla descrizione dello stato dell'ecosistema acquatico anche il giudizio relativo ai 'macrodescrittori' (LIMeco), che danno informazioni sulla condizione trofica delle acque sotto il profilo dei nutrienti (azoto ammoniacale, azoto nitrico, fosforo totale) e del livello di ossigenazione media delle acque e il giudizio relativo agli elementi chimici a sostegno i cui standard di qualità ambientale (SQA) sono forniti in tab. 1/B del d.lgs. 172/2015.

Tali EQB vengono tutti monitorati nella rete di sorveglianza e nucleo, mentre per la rete operativa sono stati selezionati quelli con maggiore carattere di bioindicazione in relazione alle caratteristiche di ciascun corpo idrico e maggiormente sensibili alle pressioni esistenti.

Di seguito vengono riportate le classificazioni di stato ecologico più recenti relative al triennio 2021-2023. Viene fornito il dettaglio dei risultati ottenuti per gli elementi di qualità che compongono lo stato ecologico dei corpi idrici fluviali (Tabella 5) e lacustri (Tabella 6).

Tabella 5. Elementi di qualità per lo stato ecologico ciclo 2021-2023

corpo idrico	stazione cod. reg.	ELEMENTI BIOLOGICI 2021-2023			LIMeco 2021-2023			Tab. 1/B 2021-2023				Stato/Potenziale Ecologico Triennio 2021-2023
		macroinvertebrati	diatomee	macrofite	LIMeco 2021	LIMeco 2022	LIMeco 2023	tab. 1/b 2021	tab. 1/b 2022	tab. 1/b 2023	superamenti tab. 1/b triennio	
Fiume Sacco 1	F4.75	3			4	4	4	1	1	1		SUFFICIENTE
Fiume Sacco 2	F4.15	4			4	4	4	2	3	3	AMPA	SCARSO
Fiume Sacco 3	F4.76	5			4	4	4	2	3	3	AMPA	CATTIVO
Fiume Sacco 4	F1.69	4			4	3	4	2	3	3	AMPA	SCARSO
Fiume Sacco 5	F1.68	4	2		4	4	4	2	3	3	AMPA	SCARSO
Fiume Cosa 2	F1.80	5			4	4	4	1	1	1		CATTIVO
Fiume Cosa 3	F1.75	4			4	5	4	1	3	3	AMPA	CATTIVO
Fosso Savo (Centogocce) 2	F4.16	5			5	4	5	2	3	3	AMPA, Glifosate	CATTIVO
Torrente Alabro 1	F1.74	3			3	3	3	1	3	3	AMPA	SUFFICIENTE
Torrente A labro 2	F1.36	4			2	3	3	1	3	2	AMPA	SCARSO
Torrente Capofiume 2	F1.37	2	1	1		1			2			BUONO

Note alla tabella: 1 = SE elevato; 2 = SE buono; 3 = SE sufficiente; 4 = SE scarso; 5 = cattivo
Per i corpi idrici artificiali e fortemente modificati, nella colonna relativa allo stato ecologico è stata adottata una diversa rappresentazione cromatica (con barre diagonali) a indicazione del loro potenziale ecologico.

Per i corpi idrici lacustri, la classificazione dello stato ecologico prevede l'analisi dei seguenti elementi di natura biologica, chimica e fisica:

- fitoplancton (composizione, abbondanze e calcolo del biovolume) che permette di calcolare l'indice IPAM-NITMED;
- LTLeco (livello trofico laghi per lo stato ecologico), valutato in funzione della concentrazione di ossigeno disciolto, della concentrazione del fosforo totale e della trasparenza;
- elementi chimici (Tab 1B d.m. 172/2015).

Tabella 6. Elementi di qualità per lo stato ecologico ciclo 2021-2023 Lago di Canterno

corpo idrico	stazione cod. reg.	ELEMENTI BIOLOGICI 2021-2023				LTLeco 2021-2023				Tab. 1/B 2021-2023					Stato/Potenziale Ecologico Triennio 2021-2023
		Fitoplancton 2021	Fitoplancton 2022	Fitoplancton 2023	BIO triennio	LTLeco 2021	LTLeco 2022	LTLeco 2023	LTLeco triennio	tab. 1/b 2021	tab. 1/b 2022	tab. 1/b 2023	tab. 1/b triennio	superamenti tab. 1/b triennio	
Lago di Canterno	L1.30	4	4	ND	4	3	3	3	3	1	3	3	3	AMPA	SCARSO

Di seguito (Tabella 7) si rappresenta il trend di stato ecologico tra il sessennio di monitoraggio 2015-2020, il triennio 2021-2023 (relativo al sessennio successivo di monitoraggio 2021-2026) e l'andamento riscontrato nel 2024 a valere come dato temporaneo relativo al triennio 2024-2026.

Tabella 7. Trend di stato di qualità ambientale dei corpi idrici con indicazione degli elementi che determinano l'eventuale scadimento dello stato ecologico (INV: macroinvertebrati; FP: fitoplancton).

corpo Idrico nome	stazione codice regionale	STATO ECOLOGICO sessennio 2015-2020	STATO ECOLOGICO triennio 2021-2023	STATO ECOLOGICO annualità 2024	superamenti 1/B	stato trofico < buono al 2023	EQB < buono	STATO ECOLOGICO TREND
Fiume Cosa 2	F1.80	5	5	5		LIMeco	INV	↔
Fiume Cosa 3	F1.75	5	4	5	AMPA	LIMeco	INV	↔
Fiume Sacco 1	F4.75	3	3	3			INV	↔
Fiume Sacco 2	F4.15	4	4	4	AMPA	LIMeco	INV	↔
Fiume Sacco 3	F4.76	5	5	5	AMPA	LIMeco	INV	↔
Fiume Sacco 4	F1.69	4	4	4	AMPA	LIMeco	INV	↔
Fiume Sacco 5	F1.68	4	4	4	AMPA	LIMeco	INV	↔
Fosso Savo (Centogocce) 2	F4.16	5	5	5	AMPA, Glifosate	LIMeco	INV	↔
Torrente Alabro 1	F1.74	4	3	3	AMPA	LIMeco	INV	↑
Torrente Alabro 2	F1.36	3	4	2*	AMPA	LIMeco	INV	↔
Torrente Capofiume 2	F1.37	2	2					↔
Lago di Canterno	L1.30	4	4	5	AMPA	LTLeco	FP	↓

Note: * Dato ricavato solo da valutazione LIMeco

I dati relativi all'asta del fiume Sacco mostrano una stabile situazione di criticità dell'ecosistema acquatico sia dal punto di vista biologico e trofico, che dal punto di vista della presenza di sostanze che interferiscono con la vita acquatica (es. fitofarmaci). Analoga situazione si riscontra anche per gli affluenti e per il lago di Canterno.

3.1.4.2. Stato chimico

Lo stato chimico è determinato a partire dall'elenco di sostanze considerate prioritarie a scala europea, normato dal d.m. 260/10 (aggiornato dal d.lgs. 172/2015) in tab.1/A, sostanze per le quali sono da rispettare i previsti Standard di Qualità Ambientale (SQA) espressi come concentrazione media annua (SQA-MA) e, dove previsti, come concentrazione massima ammissibile (SQA-CMA).

Per definire lo screening delle sostanze prioritarie (tab.1/A-d.m. 260/10), l'analisi dei dati di qualità pregressi e l'analisi delle pressioni sono state utilizzate per indirizzare e ottimizzare la programmazione del monitoraggio chimico, differenziando sia i profili analitici che le frequenze di campionamento, che risultano declinate mensilmente o trimestralmente.

Si riporta la classificazione dello stato chimico in dettaglio per il triennio 2021-2023 più l'annualita del 2024 (Tabella 8).

Tabella 8. Stato chimico ciclo 2021-2024 e relativi superamenti rilevati (MA: concentrazione media annua; CMA: concentrazione massima ammissibile; NP: non in programma di monitoraggio per l'annualità)

corpo Idrico nome	Codice stazione	STATO CHIMICO 2021	PARAMETRO SUPERAMENTO 2021	STATO CHIMICO 2022	PARAMETRO SUPERAMENTO 2022	STATO CHIMICO 2023	PARAMETRO SUPERAMENTO 2023	STATO CHIMICO 2024	PARAMETRO SUPERAMENTO 2024
Fiume Sacco 1	F4.75	BUONO*		BUONO*		BUONO*		BUONO*	
Fiume Sacco 2	F4.15	BUONO*		BUONO*		BUONO*		BUONO*	
Fiume Sacco 3	F4.76	NON BUONO	Cipermetrina (MA), Esacloroci cloesano (MA e CMA)	NON BUONO	Cipermetrina (MA e CMA)	NON BUONO	Cipermetrina (MA e CMA), Esacloroci cloesano (MA e CMA)	NON BUONO	Cipermetrina (MA e CMA)
Fiume Sacco 4	F1.69	NON BUONO	Esacloroci cloesano (CMA)	BUONO		NON BUONO	Mercurio disciolto (CMA)	NON BUONO	Cipermetrina (MA e CMA)
Fiume Sacco 5	F1.68	NON BUONO	Cipermetrina (MA e CMA), Esacloroci cloesano (CMA)	NON BUONO	Cipermetrina (MA), Mercurio disciolto (CMA), PFOS (MA	NON BUONO	PFOS (MA)	NON BUONO	Mercurio disciolto (CMA), PFOS (MA)
Fiume Cosa 2	F1.80	BUONO*		BUONO*		BUONO*		BUONO*	
Fiume Cosa 3	F1.75	BUONO*		BUONO*		BUONO*		BUONO*	
Fosso Savo (Centogocce) 2	F4.16	BUONO*		BUONO*		BUONO*		BUONO*	
Torrente Alabro 1	F1.74	BUONO*		BUONO*		BUONO*		BUONO*	
Torrente Alabro 2	F1.36	BUONO		BUONO		BUONO		BUONO	
Torrente Capofiume 2	F1.37	NP		BUONO		NP		NP	
Lago di Canterno	L1.30	NON BUONO	Cipermetrina (MA e CMA)	NON BUONO	Cipermetrina (MA e CMA	NON BUONO	PFOS (MA)	NON BUONO	Mercurio disciolto (CMA)

Come per lo stato ecologico, la Tabella 9 riporta il trend di stato chimico riscontrato tra il sessennio di monitoraggio 2015-2020 e il triennio 2021-2023 (relativo al sessennio successivo di monitoraggio 2021-2026) dei corpi idrici superficiali del bacino del Sacco, con ulteriore indicazione dei risultati per l'annualità 2024 a valere sul ciclo triennale 2024-2026.

Tabella 9. Trend di stato di qualità ambientale dei corpi idrici con indicazione dei parametri che determinano lo scadimento dello stato chimico

Corpo Idrico nome	Tipologia corpo idrico	Monitoraggio	Codice stazione	STATO CHIMICO 2015-020	STATO CHIMICO 2021-2023	STATO CHIMICO Annualità 2024	Parametro superamento	SC "trend"
Fiume Cosa 2	N	O	F1.80	BUONO	BUONO	BUONO		↔
Fiume Cosa 3	FM	O	F1.75	BUONO	BUONO	BUONO		↔
Fiume Sacco 1	N	O	F4.75	BUONO	BUONO	BUONO		↔
Fiume Sacco 2	N	O	F4.15	BUONO	BUONO	BUONO		↔
Fiume Sacco 3	N	O	F4.76	NON BUONO	NON BUONO	NON BUONO	Cipermetrina, Esaclorocicloesano	↔
Fiume Sacco 4	N	O	F1.69	NON BUONO	NON BUONO	NON BUONO	Esaclorocicloesano, Mercurio disciolto, Cipermetrina	↔
Fiume Sacco 5	N	O	F1.68	NON BUONO	NON BUONO	NON BUONO	Cipermetrina, Esaclorocicloesano, Mercurio disciolto, PFOS	↔
Fosso Savo (Centogocce) 2	N	O	F4.16	BUONO	BUONO	BUONO		↔
Torrente Alabro 1	FM	O	F1.74	BUONO	BUONO	BUONO		↔
Torrente Alabro 2	FM	O	F1.36	BUONO	BUONO	BUONO		↔
Torrente Capofiume 2	N	S	F1.37	BUONO	BUONO	BUONO		↔
Lago di Canterno	N	O	L1.30	BUONO	NON BUONO	NON BUONO	PFOS, Cipermetrina, Mercurio disciolto	↓

Anche dal punto di vista dello stato chimico, sull'asta del Fiume Sacco, prevalentemente nel tratto del corso d'acqua che attraversa la provincia di Frosinone o ad essa contiguo, si evidenziano criticità "storiche" quali la presenza dell'esaclorocicloesano, ma anche la presenza di altre sostanze dell'elenco di priorità, fra cui i composti appartenenti al gruppo dei PFOS.

3.1.5 Rete di monitoraggio corpi idrici sotterranei

La delimitazione dei corpi idrici sotterranei, finalizzata al monitoraggio per il conseguimento degli obiettivi di qualità ambientale di cui all'articolo 76 del citato d.lgs. 152/06 e ss.mm.ii., deve consentire di rappresentare un "volume distinto di acque sotterranee contenuto da uno o più acquiferi" omogeneo anche in relazione allo stato ambientale, tale da consentire di valutare, complessivamente, il suo stato e i trend.

L'identificazione e la perimetrazione dei corpi idrici sotterranei avviene a partire dai complessi idrogeologici. I criteri tecnici sono definiti al punto 1 dell'allegato 1 alla parte terza del d.lgs. 152/06 così come modificato ed integrato dal d.m. 131/08 e dal d.lgs. 30/2009. La metodologia da eseguire è rappresentata dal percorso riportato in Figura 6.



***Unità di bilancio: dominio dotato di una comprovata unità strategica e/o strutturale, al cui limite si verificano condizioni che annullano od ostacolano le possibilità di interscambi idrici sotterranei e che al suo interno può conterere uno o più corpi idrici.**

Figura 6. Schema di identificazione delle unità di bilancio o corpo idrico (d.lgs. 152/2006)

Considerando la classificazione della carta delle risorse idriche sotterranee di Mouton, che costituisce un quadro di riferimento nazionale, sono stati individuati n. 25 complessi idrogeologici. Il corpo idrico sotterraneo *Unità terrigena delle valli dei Fiumi Sacco, Liri e Garigliano* (Tabella 10) appartiene al complesso idrogeologico "formazioni detritiche degli altipiani plio-quaternarie" della classificazione di Mouton.

Tabella 10. Denominazione CIS e codici identificativi

NOME CORPO IDRICO	CODICE REGIONALE CORPO IDRICO	CODICE EUROPEO CORPO IDRICO	CODICE DISTRETTO
Unità terrigena delle valli dei Fiumi Sacco, Liri e Garigliano	DQ009	IT12DQ009	ITE2018

L'insieme delle valutazioni di carattere geologico, idrogeologico e antropico insistenti sul CIS, ha portato all'individuazione di specifici punti di monitoraggio necessari per il monitoraggio chimico.
Con la del.giunta.reg. n. 901 del 9 dicembre 2021 (revoca della del.giunta.reg. 18 aprile 2003 n. 355. Individuazione e approvazione della nuova rete di monitoraggio qualitativo e del programma di monitoraggio 2021-2026 dei corpi idrici sotterranei della Regione Lazio. D.lgs.152/2006 e ss.mm.ii.) è stata ridefinita la rete di monitoraggio qualitativo delle acque sotterranee precedentemente individuata con la del.giunta.reg. n. 335 del 18 aprile 2003 (Prima individuazione dei punti di monitoraggio quantitativo e qualitativo delle acque sotterranee. D.lgs. 152/99, come modificato dal d.lgs. 258/2000) implementando i punti di monitoraggio del corpo idrico in esame. L'attuale rete di monitoraggio comprende l'accorpamento e l'omogeneizzazione della c.d. "rete sorgenti" (DGR 335/2003), la c.d. "rete ZVN", e altri punti che si sono resi necessari per la copertura idonea per l'investigazione dell'acquifero.

La rete di monitoraggio delle acque sotterranee per il monitoraggio qualitativo è principalmente costituita da sorgenti e pozzi. A partire dal 2015 e fino al 2024 la rete di monitoraggio ha subito delle modifiche nel tempo in incrementi sia per istituzione di nuove aree ZVN, sia per motivi tecnici legati alla rappresentatività dell'area da investigare, sia per motivi legati alla disponibilità dei proprietari dei pozzi, che ha di conseguenza portato a sostituire dei punti individuandone altri. Nei paragrafi successivi si farà riferimento alla rappresentazione dello stato di qualità chimico del CIS relativo al sessennio 2015-2020, ai trend di qualità dei singoli punti di monitoraggio ad oggi disponibili relativi al primo quadriennio 2021-2024 del sessennio 2021-2026.

La rete di monitoraggio dell'*Unità terrigena delle valli dei Fiumi Sacco, Liri e Garigliano*, rappresentativa dei dati, consta di 23 punti di monitoraggio (tutti operativi) fino al 2023 poi divenuti n.24 nel 2024, tra cui n.5 sorgenti, ubicati come nella Figura 7 che segue. Nella Tabella 11, sono elencate le anagrafiche dei punti di monitoraggio.

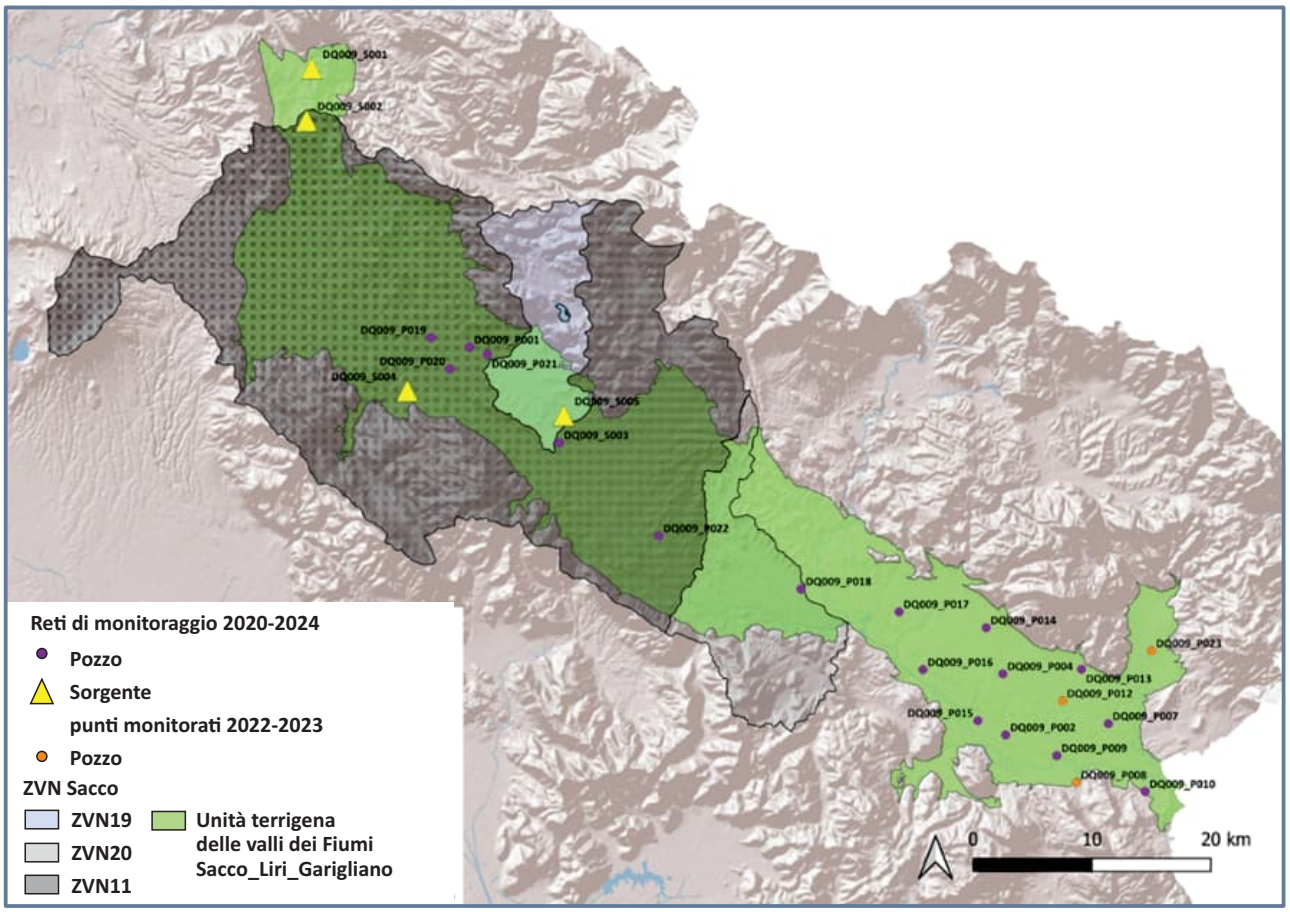


Figura 7. Rete di monitoraggio delle acque sotterranee quadriennio di riferimento 2021-2024

Tabella 11. Anagrafiche dei punti di campionamento

COMUNE	PROVINCIA	CODIFICA	PROGRAMMA MONITORAGGIO 2015-2020 e 2021-2027	NOTE	TIPO
Ferentino	FR	DQ009_S005	Operativo	ZVN – inizio monitoraggio 2024	Sorgente
Anagni	FR	DQ009_S004	Operativo	ZVN	Sorgente
Ferentino	FR	DQ009_S003	Operativo	ZVN	Sorgente
San Vito Romano	RM	DQ009_S002	Operativo	ZVN	Sorgente
Gerano	RM	DQ009_S001	Operativo		Sorgente
Cassino	FR	DQ009_P023	Operativo	Non più monitorato dal 2024	Pozzo
Ceccano	FR	DQ009_P022	Operativo	ZVN	Pozzo
Anagni	FR	DQ009_P021	Operativo	ZVN	Pozzo
Anagni	FR	DQ009_P020	Operativo	ZVN	Pozzo
Anagni	FR	DQ009_P019	Operativo	ZVN	Pozzo
Ceprano	FR	DQ009_P018	Operativo		Pozzo
Colfelice	FR	DQ009_P017	Operativo		Pozzo
Pontecorvo	FR	DQ009_P016	Operativo		Pozzo
Pontecorvo	FR	DQ009_P015	Operativo		Pozzo
Castrocielo	FR	DQ009_P014	Operativo		Pozzo
Villa S. Lucia	FR	DQ009_P013	Operativo		Pozzo
Piedimonte S.Germano	FR	DQ009_P012	Operativo	Non più monitorato dal 2024	Pozzo
S. Ambrogio sul Garigliano	FR	DQ009_P010	Operativo		Pozzo
Pignataro I.	FR	DQ009_P009	Operativo		Pozzo
S. Giorgio a Liri	FR	DQ009_P008	Operativo	Non più monitorato dal 2024	Pozzo
Pignataro	FR	DQ009_P007	Operativo		Pozzo
Aquino	FR	DQ009_P004	Operativo		Pozzo
Pontecorvo	FR	DQ009_P002	Operativo		Pozzo
Anagni	FR	DQ009_P001	Operativo	ZVN	Pozzo

Il programma di monitoraggio è stato definito sulla scorta delle risultanze dei monitoraggi del sessennio precedente e in ragione della valutazione del rischio di non raggiungimento dello stato buono definito in sede di redazione dei Piani di gestione delle acque dei Distretti idrografici dell'Appennino Meridionale e Centrale e sulla base di criteri specifici (es. ZVN, stato scarso dei CI nei singoli anni di monitoraggio).

I programmi di monitoraggio per il ciclo sessennale di riferimento prevedono campionamenti con cadenza semestrale, in primavera (aprile-maggio) e autunno (ottobre-novembre) per la determinazione dei parametri di base (caratterizzazione ionica). Si aggiungono inoltre i parametri di cui alle tabelle 2 e 3 del punto B-allegato 1 alla parte terza del d.lgs. 152/06 e ss.mm.ii e altri parametri indicatori di impatti derivanti da attività antropiche in relazione al contesto antropico locale. Per i punti ZVN le frequenze di campionamento nel tempo sono state intensificate ogni trimestre anche ai fini della definizione dei trend delle concentrazioni di nitrati.

Si sottolinea inoltre che al fine di distinguere le principali facies idrochimiche caratteristiche per i diversi corpi idrici sotterranei perimetrati, a partire dall'annualità di monitoraggio 2020, è stata prevista l'esecuzione delle determinazioni analitiche dei principali ioni.

Per quanto riguarda la rete di monitoraggio quantitativa, in alcuni dei punti riportati nella Tabella 11 viene eseguita, dove possibile, anche una valutazione semi-quantitativa mediante la misurazione in campo dei livelli di falda oppure mediante informazioni di parametri di portata (nei pozzi attrezzati con misuratori di portata, oppure direttamente dalle sorgenti). Tuttavia ad oggi non è ancora ben definita una rete puramente specifica per tale scopo.

Per quanto attiene alla definizione dello stato quantitativo si recepisce il dato contenuto nel Piano di gestione acque III ciclo (2021-2027) del Distretto idrografico dell'Appennino Meridionale approvato in via definitiva con d.p.c.m. del 27 giugno 2023 – G.U. n. 214 del 13/09/2023.

3.1.6 Qualità ambientale delle acque sotterranee

3.1.6.1 Stato chimico e stato quantitativo

Per quanto riguarda la conformità, la valutazione si basa sulla semplice comparazione dei dati analitici di monitoraggio (in termini di concentrazione media annua) con gli standard numerici (tabella 2 e tabella 3, lettera B, parte A dell'allegato 1 della parte III del d.lgs. 152/2006 e ss.mm.ii.). Nessun corpo idrico sotterraneo deve eccedere questi valori.

La valutazione dello stato chimico delle acque sotterranee è condotta alla fine del ciclo di un piano di gestione (sessenni di riferimento), utilizzando i dati raccolti con il monitoraggio nei diversi anni del sessennio di riferimento che in questo caso è il sessennio 2015-2020. Con le valutazioni annuali vengono rappresentati i dati di qualità chimica rappresentativa del superamento o no degli standard di cui sopra. Pertanto il quadriennio 2021-2024 è da intendersi come indice di trend temporale nella valutazione della qualità chimica del CIS che concorrerà all'aggiornamento dello stato di qualità del sessennio in corso 2021-2026.

Lo stato chimico nel sessennio di riferimento 2015-2020, come anticipato in precedenza, deriva dalla valutazione di attività di monitoraggio svolte considerando 3 punti di monitoraggio e viene rappresentato nella Tabella 12 e nella Figura 8.

Tabella 12. Stato chimico sessennio 2015-2020 Unità terrigena della valle dei Fiumi Sacco, Liri e Garigliano (DQ009)

Codice stazione	Comune	Conformità limiti tabella 2 e 3 del punto B - allegato 1 alla parte III del d.lgs. 152/2006 e ss.mm.ii.							
		Anno 2015	Anno 2016	Anno 2017	Anno 2018	Anno 2019	Anno 2020	CLASSIFICAZIONE SESSENNIO DQ009	PARAMETRO SUPERAMENTO
DQ009_P001	Anagni	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO	SCARSO	SCARSO	
DQ009_S001	Gerano	SCARSO	BUONO	BUONO		BUONO	BUONO		Bromodiclorometano, Dibromoclorometano, Triclorometano
DQ009_S002	San Vito Romano	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO		

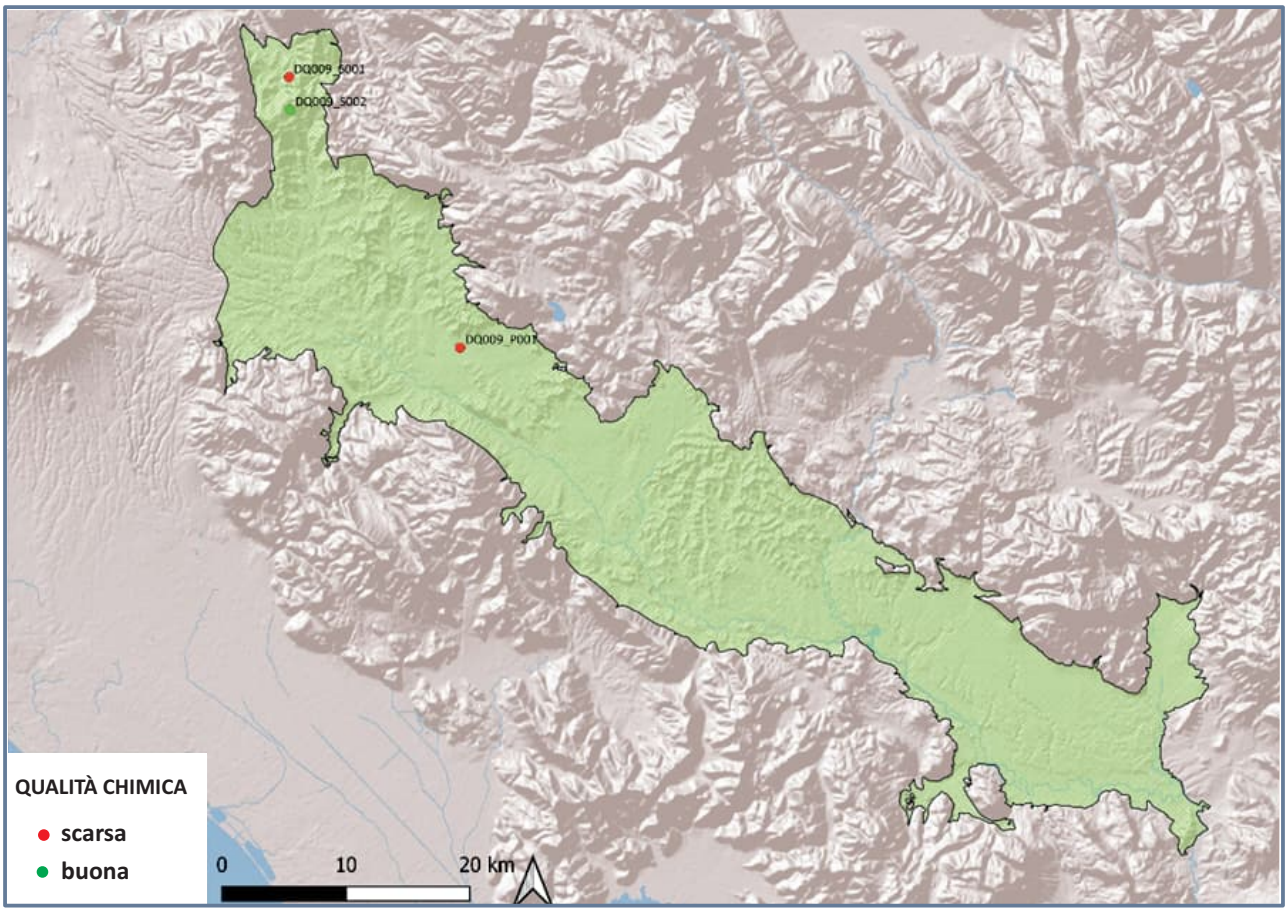


Figura 8. Rappresentazione punti non conformi agli SQ nel sessennio di riferimento 2015-2020

Ad oggi sono disponibili i risultati del quadriennio 2021-2024 relativi al sessennio 2021-2026 eseguiti considerando una rete di monitoraggio costituita da 24 punti, che tuttavia confermano lo stato qualitativo del sessennio precedente (Tabella 13, Figura 9).

Tabella 13. Risultati monitoraggio qualità chimica quadriennio 2021-2024 Unità terrigena della valle dei Fiumi Sacco, Liri e Garigliano (DQ009)

ID	Comune	Conformità limiti tabella 2 e 3 del punto B - allegato 1 alla parte III del d.lgs. 152/2006 e ss.mm.ii.					
		Anno 2021	Anno 2022	Anno 2023	Anno 2024	Note	PARAMETRO SUPERAMENTO
DQ009_S001	Gerano	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO		
DQ009_S002	San Vito Romano	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO		
DQ009_S003	Ferentino		BUONO	BUONO	BUONO		
DQ009_S004	Anagni		BUONO	BUONO	BUONO		
DQ009_P001	Anagni	SCARSO	BUONO	BUONO	BUONO		Triclorometano, Ione Ammonio
DQ009_P002	Pontecorvo		SCARSO	SCARSO	SCARSO		Arsenico
DQ009_P004	Aquino		SCARSO	BUONO	BUONO		Nitrati
DQ009_P007	Pignataro		BUONO	BUONO	BUONO		
DQ009_P008	S. Giorgio a Liri		BUONO	BUONO	N.C.	Non più campionato dal 2024	
DQ009_P009	Pignataro		BUONO	N.C.	BUONO	Campionato 1 volta su 3 anno 2022 (negato accesso)	
DQ009_P010	S. Ambrogio sul Garigliano		BUONO	BUONO	BUONO		
DQ009_P012	Piedimonte S. Germano		SCARSO	N.C.	N.C.	Campionato 1 volta su 3 anno 2022 (irreperibilità titolare). Non più campionato dal 2024	Nitrati
DQ009_P013	Villa S. Lucia		BUONO	SCARSO	BUONO		Bromodiclorometano
DQ009_P014	Castrocielo		BUONO	BUONO	BUONO		
DQ009_P015	Pontecorvo		BUONO	BUONO	BUONO		
DQ009_P016	Pontecorvo		SCARSO	BUONO	SCARSO		Nitrati
DQ009_P017	Colfelice		SCARSO	BUONO	SCARSO		Nitrati
DQ009_P018	Ceprano		BUONO	BUONO	BUONO		
DQ009_P019	Anagni		BUONO	BUONO	BUONO		
DQ009_P020	Anagni		SCARSO	SCARSO	SCARSO		Arsenico, Ione ammonio, Boro, Cloruro di Vinil
DQ009_P021	Anagni		SCARSO	SCARSO	BUONO		Glifosate, Triclorometano
DQ009_P022	Ceccano		SCARSO	BUONO	BUONO		Triclorometano, Bromodiclorometano
DQ009_P023	Cassino		BUONO	N.C.	N.C.	Non più campionato dal 2024	

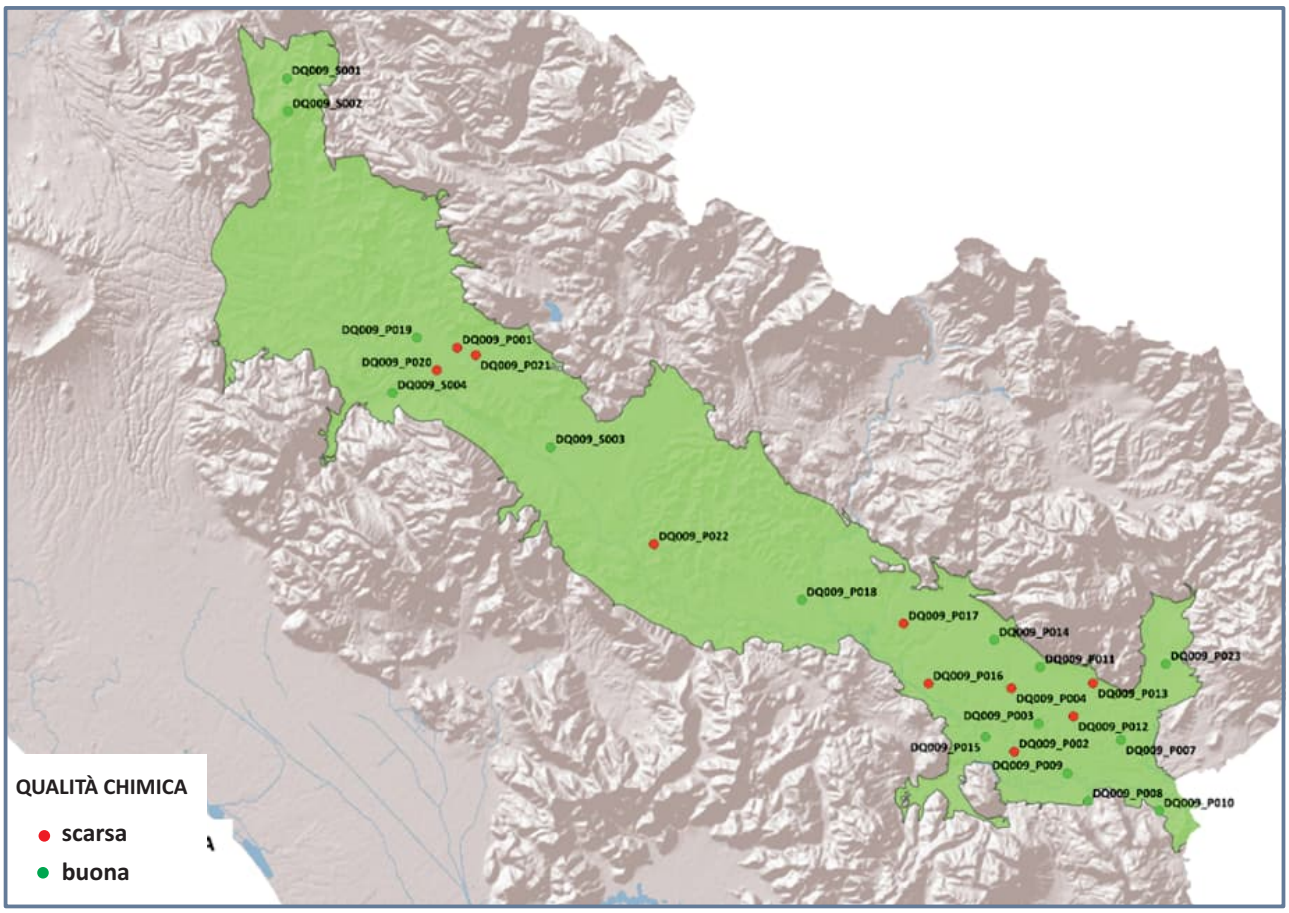


Figura 9. Rappresentazione punti non conformi agli SQ quadriennio 2021-2024

Ad eccezione delle sorgenti (identificate con codice DQ009_S00X), in alcuni dei punti è possibile rilevare la presenza di alcune sostanze tra cui composti alifatici alogenati e clorurati, pesticidi e nitrati. Nella Figura 10 una rappresentazione spaziale delle sostanze di cui sopra.

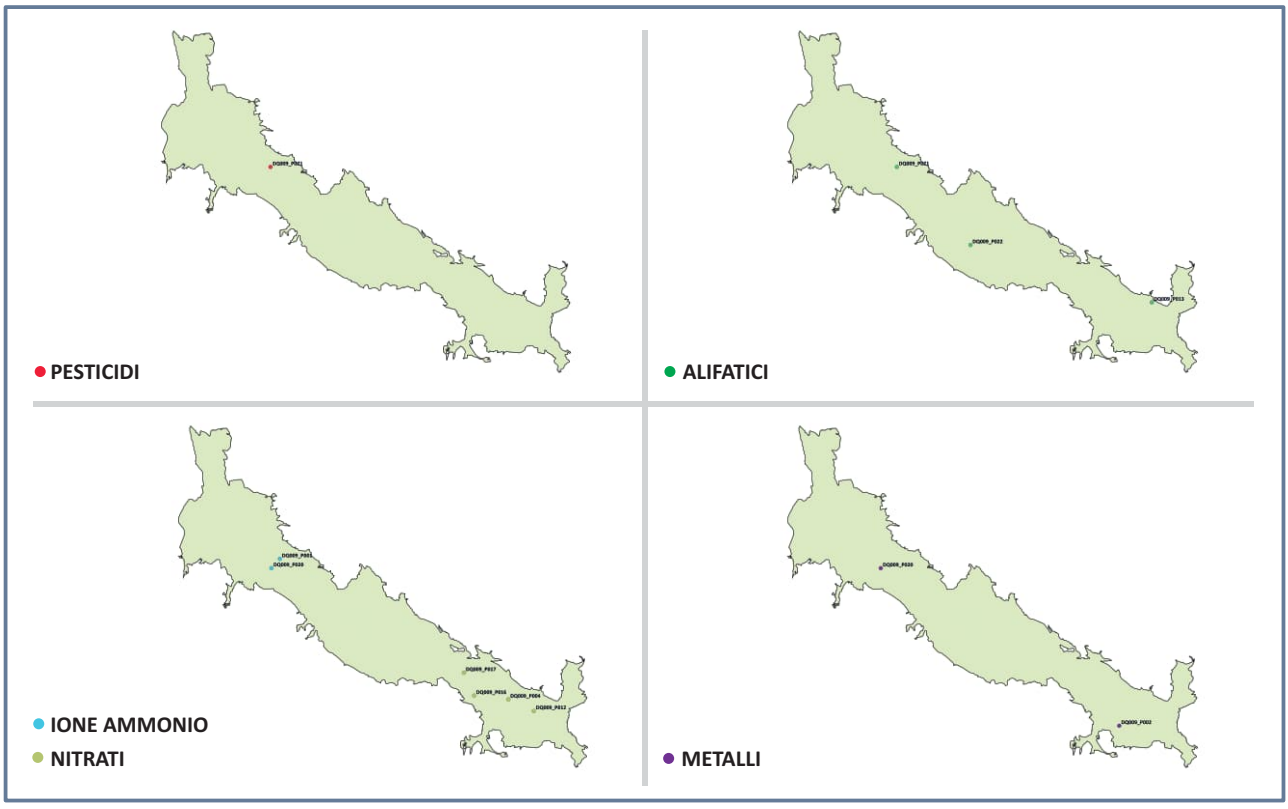


Figura 10. Rappresentazione spaziale dei punti con superamento degli SQ per metalli, ione ammonio, nitrati, pesticidi e composti alifatici

Si ribadisce che i dati illustrati nel quadriennio 2021-2024 rappresentano esclusivamente la qualità delle acque e non lo stato chimico (valutato a fine ciclo sessennale) basata sul superamento o no degli standard numerici SQA riportati nel d.lgs. 152/2006 e ss.mm.ii.

Tuttavia ad oggi non è ancora possibile mettere in evidenza quali siano le tendenze rispetto agli anni precedenti, vista la brevità del periodo di monitoraggio delle nuove stazioni aggiunte.

Per quanto riguarda lo stato quantitativo, il dato recepito nel Piano di gestione acque III ciclo (2021-2027) del Distretto idrografico dell'Appennino Meridionale evidenzia uno stato quantitativo buono.



Figura 11. Stato quantitativo sessennio 2015-2020

3.1.6.2 Facies idrochimica

Per quanto riguarda la facies idrochimica, l'analisi delle specie ioniche, a partire dall'anno 2020, ha permesso di delineare le principali caratteristiche delle acque del corpo idrico sotterraneo investigato. Di seguito verranno illustrati i risultati ottenuti considerando i dati dell'anno 2022.

Per definizione, una facies è appunto la caratteristica dell'acqua che descrive la sua composizione chimica acquisita in funzione del contesto litologico e quindi in funzione del contatto con le rocce

L'elaborazione e il plottaggio dei dati relativi al 1° semestre e 2° semestre (Figura 12), sul diagramma di Piper evidenzia la disposizione di una nuvola di punti all'interno della facies bi-carbonato calcica e magnesiaca, con arricchimento di ioni magnesio e calcio per alcuni punti nel 2° semestre.

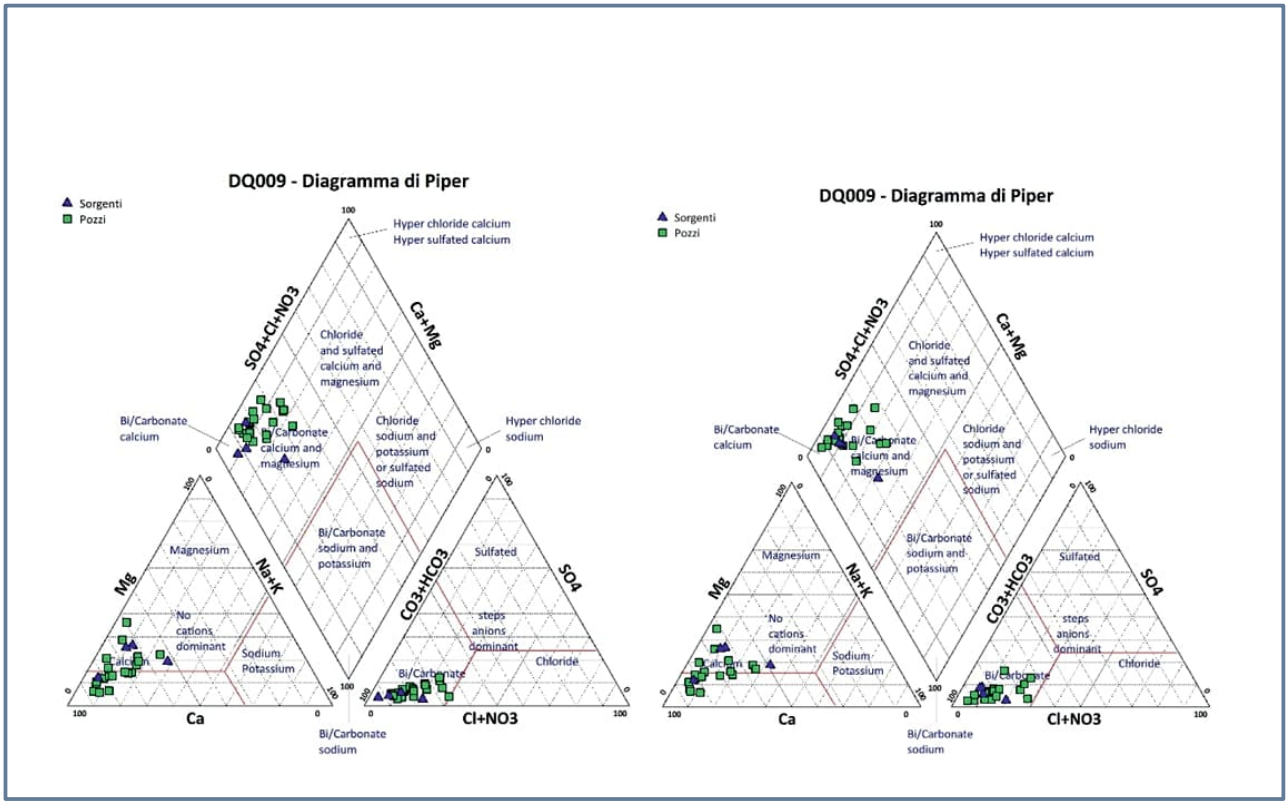


Figura 12. Diagramma di Piper DQ009. A sx dati 1° semestre e a dx dati 2° semestre (dati 2022)

L'assetto litologico dell'acquifero si ripercuote sulle caratteristiche fisico-chimiche delle acque che, inoltre, risultano miscelate, in molti settori, con fluidi di origine profonda e apporti dalle strutture adiacenti. Diverse sono infatti, le circolazioni idriche ospitate nelle formazioni vulcaniche, carbonatiche, lacustri, fluviali e silico-clastiche.

3.1.7 Criticità ambientali sulle acque

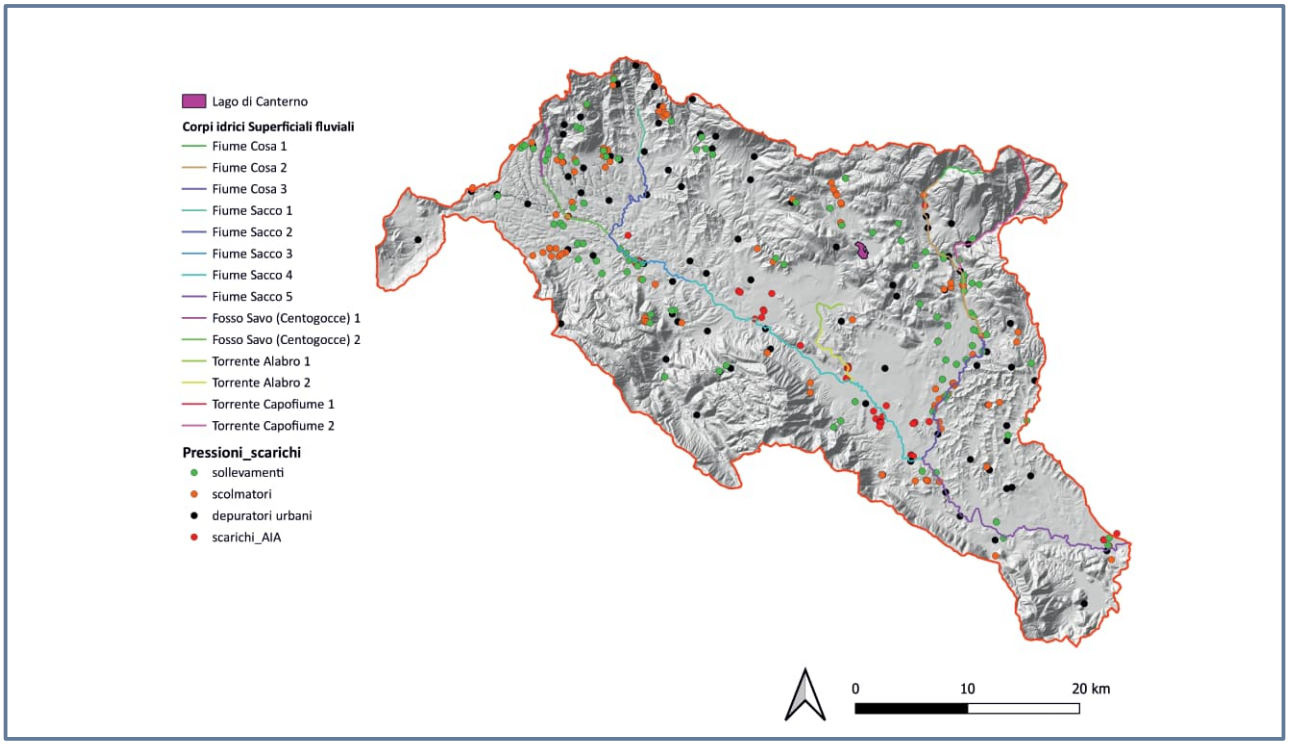
3.1.7.1 I fattori di pressione

Per valutare il rischio di non raggiungimento o mantenimento degli obiettivi di qualità, ogni distretto idrografico deve effettuare un'analisi delle pressioni esercitate dalle attività umane sullo stato dei corpi idrici superficiali e sotterranei (art. 5 DQA), i cui risultati devono essere inclusi nel Piano di gestione delle acque, che rappresenta il principale strumento attuativo delle disposizioni comunitarie a livello distrettuale (art. 13 DQA) ed è redatto ogni 6 anni.

L'analisi, la caratterizzazione e, ove possibile, la quantificazione delle pressioni è fondamentale per la progettazione e l'aggiornamento di reti e programmi di monitoraggio delle acque basati su classi di rischio; tale analisi deve consentire di individuare quelle ritenute significative per lo stato dei corpi idrici, cioè quelle che possono pregiudicare il raggiungimento/mantenimento degli obiettivi di qualità ambientale secondo le tempistiche previste dalla direttiva comunitaria.

Sono riscontrabili diverse tipologie di pressioni, ognuna delle quali esercita in maniera diversa un impatto (diretto o indiretto) sulle diverse componenti, biotiche e abiotiche, degli ecosistemi acquatici, quindi dei corpi idrici delle reti di monitoraggio.

Sulla scorta delle indicazioni tecniche contenute nei documenti *CIS - Guidance document n. 3 (2018) e Linee Guida per l'Analisi delle Pressioni ai sensi della direttiva 2000/60/CE(2018)*, si riportano nelle Tabella 14 e Tabella 15 le principali pressioni considerate, per differente categoria di acqua. Per la trattazione completa si rimanda al PTAR aggiornato al 2018 e al più recente Aggiornamento del Piano in fase di approvazione (del.giunta.reg. n. 1152 del 23/12/2024) oltre che ai documenti di Pianificazione di distretto.
Nelle figure che seguono (Figura13, Figura 14, Figura 15) sono rappresentate cartograficamente le pressioni di maggior rilievo. Gli strati cartografici sono stati estratti dal sito https://sira.arpalazio.it/.



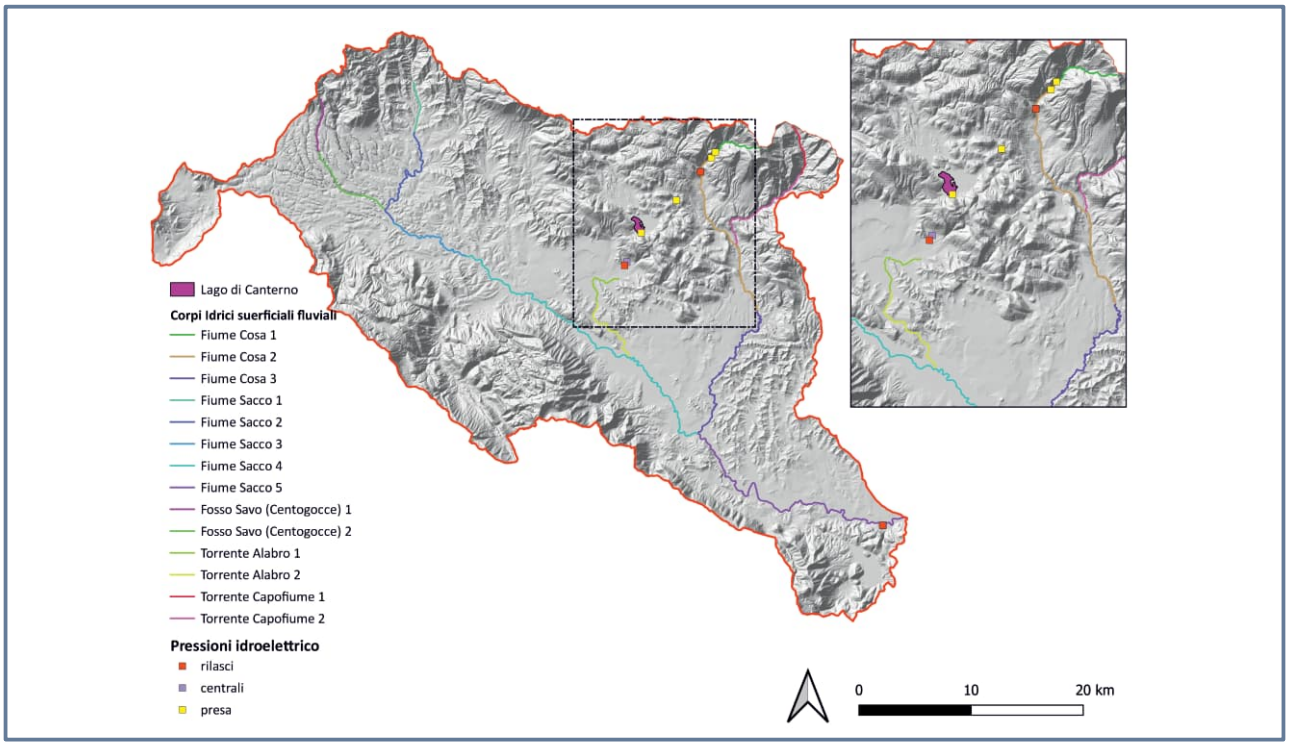


Figura 13. Pressioni puntuali su corpi idrici fluviali e lacustri nel bacino del Sacco da scarichi depuratori urbani, scolmatori, sollevamenti, e impianti AIA censiti (in alto) e da impianti idroelettrici (in basso).
Fonte: https://sira.arpalazio.it/

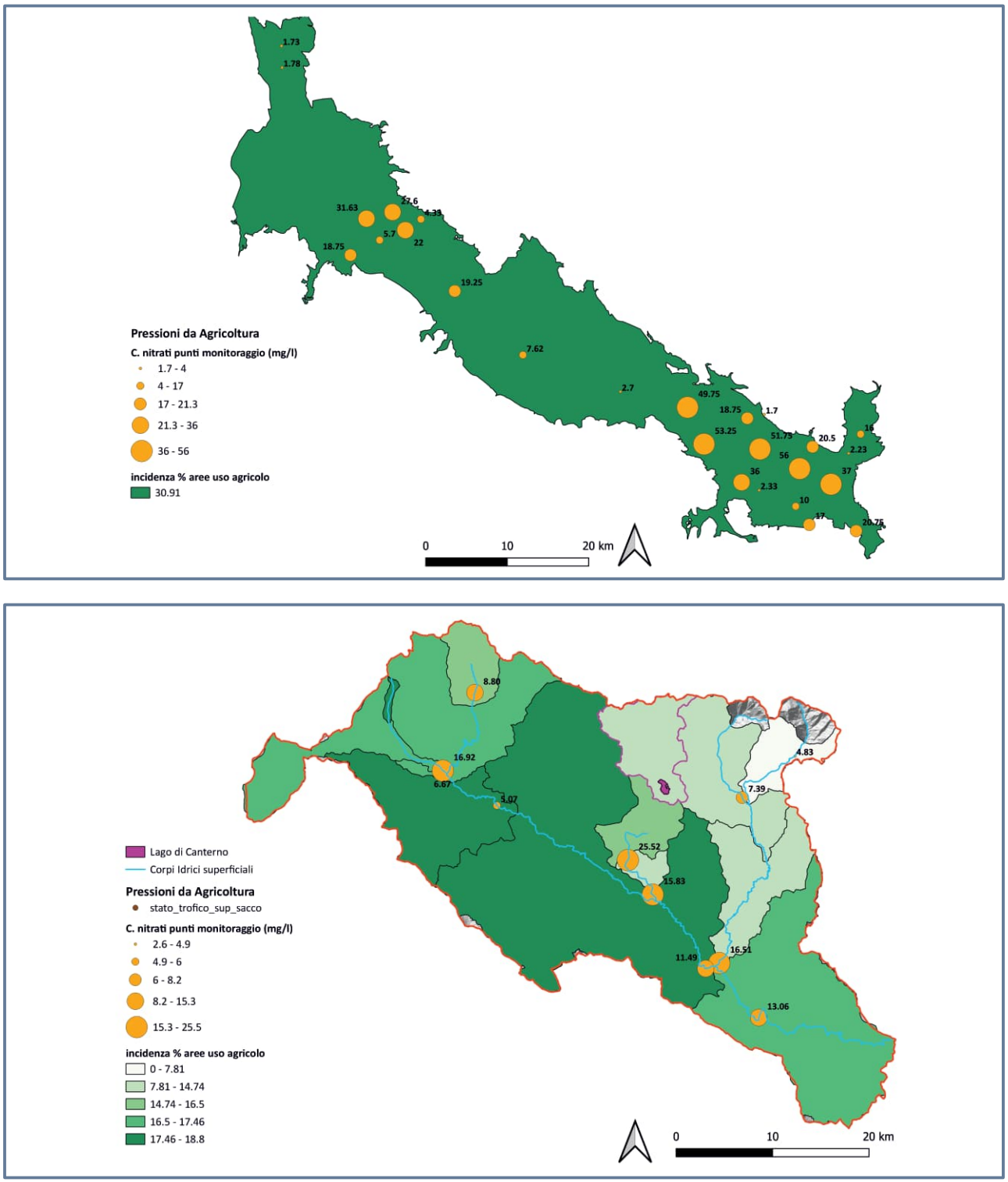
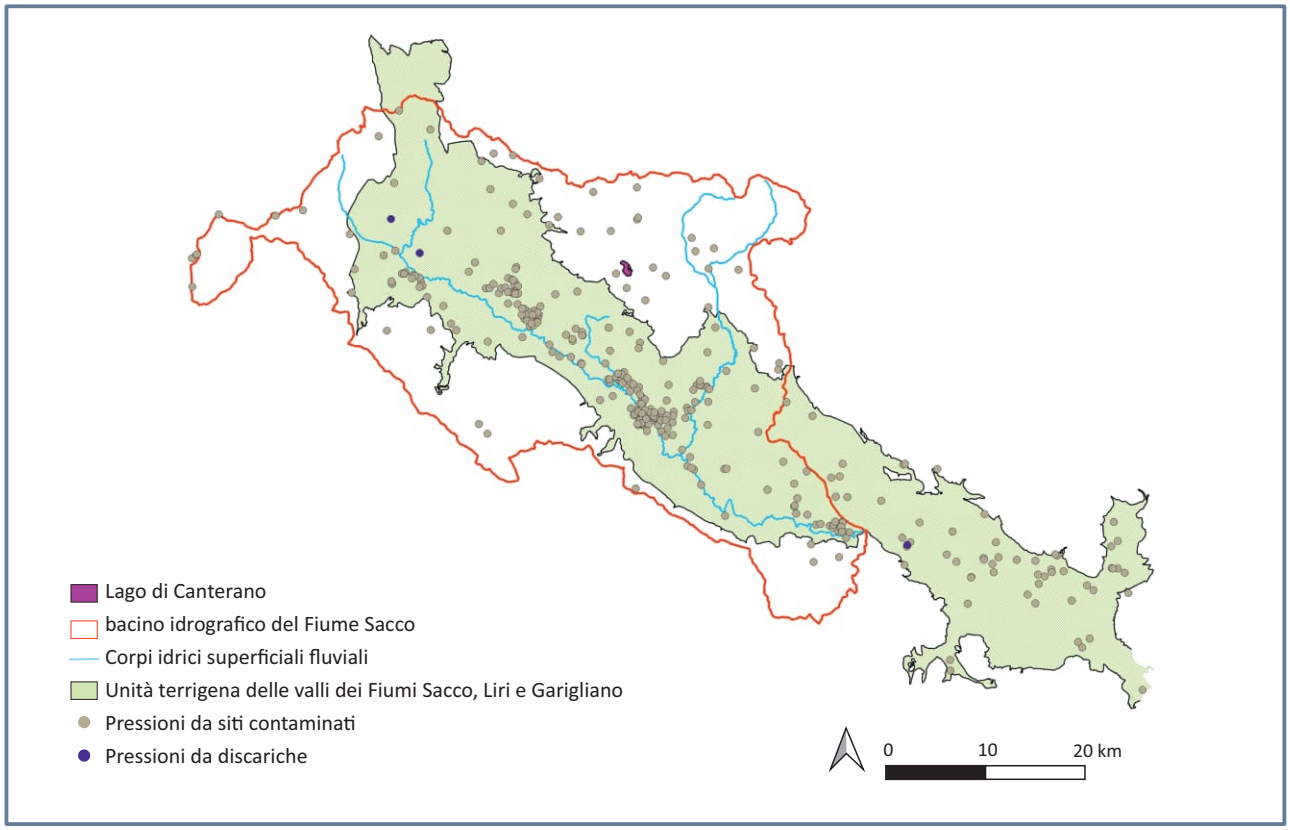


Figura 14. Pressioni diffuse da suoli ad uso agricolo. Incidenza % su corpi fluviali e lacustri nel bacino del Sacco (in alto) e su corpo idrico sotterraneo (in basso): Fonte https://sira.arpalazio.it/



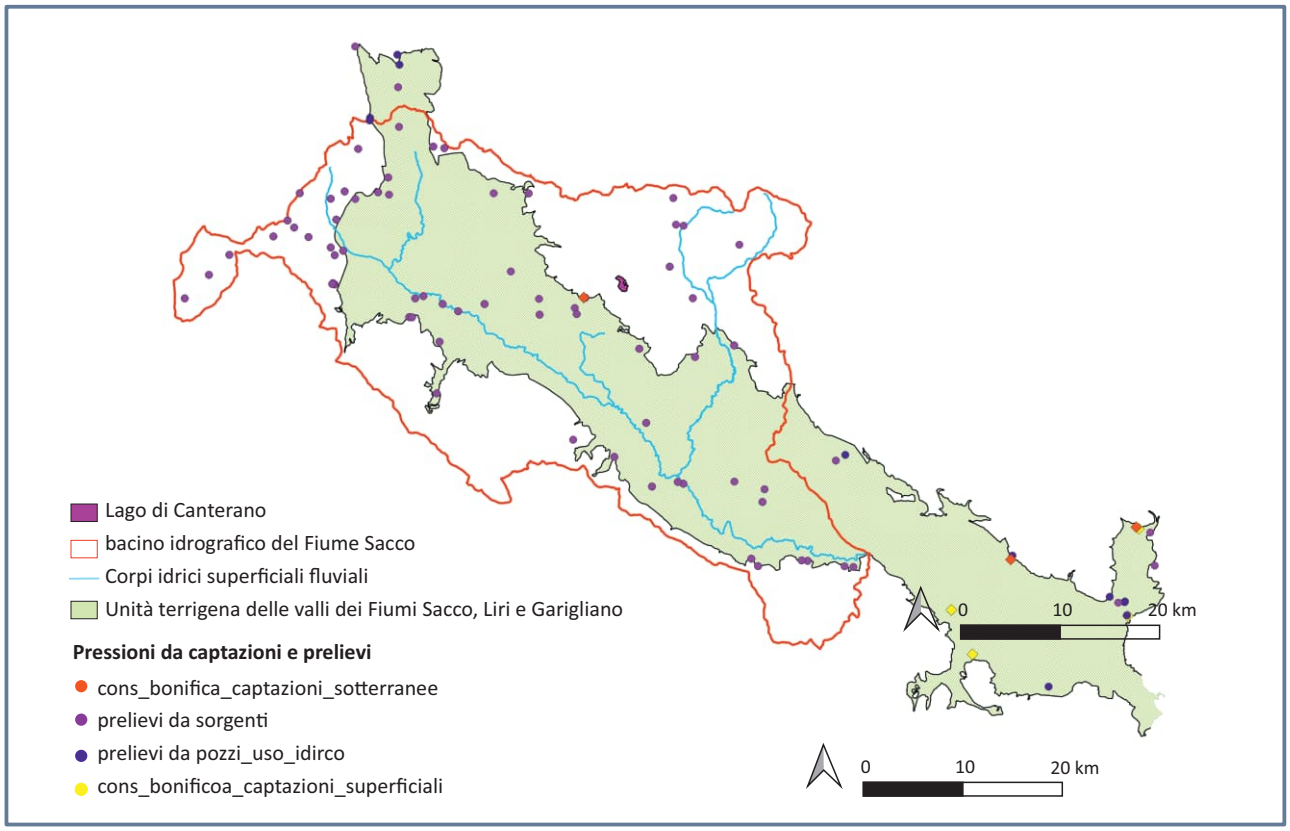


Figura 15. Pressioni puntuali da presenza di siti contaminati e da discariche su corpi idrico lacustre e sotterraneo e su corpi idrici fluviali(in alto). Pressioni puntuali da prelievi per captazioni da corpi idrici superficiali e sotterranei (in basso). Fonte https://sira.arpalazio.it/

Nella Valle del Sacco, il deterioramento dello stato ambientale a carico dei CI fluviali e lacustri e degli acquiferi (parr. 3.1.4 e 3.1.6) risulta principalmente connesso alle fonti puntuali di pressione antropica, in particolare la presenza di scarichi di reflui civili scarsamente depurati, l'agricoltura diffusa e la zootecnia.

Sul territorio drenato dall'asta principale del Fiume Sacco ma anche dagli affluenti (Savo, Alabro, Cosa) le reti fognarie e le opere di collettamento o il mancato collettamento di piccoli agglomerati urbani sparsi possono rappresentare la causa di diffusi fenomeni di arricchimento in sostanza organica, contaminazione microbiologica (E. coli) e stato di eutrofizzazione delle acque. La contaminazione microbiologica e le proliferazioni algali potenzialmente tossiche conseguenti ai fenomeni di eutrofizzazione possono rivelarsi dannose anche per la salute umana oltre che per lo stato trofico degli ecosistemi acquatici.

La presenza diffusa di fitofarmaci nelle acque e i livelli elevati di nitrati, soprattutto in provincia di Frosinone, sono da porre in correlazione ai fenomeni di dilavamento delle aree agricole e al frequente spandimento incontrollato di reflui zootecnici.

L'agricoltura intensiva e l'utilizzo di fertilizzanti azotati esercitano una pressione anche sulle acque sotterranee. In alcuni pozzi della pianura alluvionale del Sacco le concentrazioni di nitrati superano i 50 mg/L, ovvero il valore soglia per considerare quella stazione di monitoraggio ad un livello di qualità scarso. In ampie porzioni della falda i valori dei nitrati risultano essere sopra i 25 mg/L, che sebbene inferiori ai limiti soglia, confermando uno stato di vulnerabilità persistente.

Un ulteriore elemento di criticità sul territorio è legato alla pressione diffusa esercitata da discariche, siti contaminati e siti industriali abbandonati, che sono stati anche causa di fenomeni di contaminazioni storiche del Fiume Sacco e degli acquiferi.

Tabella 14. Tipologie di pressioni insistenti sui corpi idrici superficiali (fluviali e lacustri) del Bacino del Fiume Sacco. * parametro valido solo per lago

Nome corpo idrico attuale WFD2022		Fiume Cosa 1	Fiume Cosa 2	Fiume Cosa 3	Fiume Sacco 1	Fiume Sacco 2	Fiume Sacco 3	Fiume Sacco 4	Fiume Sacco 5	Fosso Savo (Centogocce) 1	Fosso Savo (Centogocce) 2	Torrente Alabro 1	Torrente Alabro 2	Torrente Capofiume 1	Torrente Capofiume 2	Lago di Canterno
1.1 Puntuali - scarichi urbani (MBC)		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
1.3 Puntuali - impianti IED (MBC)						X	X	X	X				X			
1 Puntuali cumulate (MCB)																X
1.5 Puntuali - siti contaminati/siti industriali abbandonati (MBC)				X			X	X	X		X		X		X	
2.1.1-2.1.1 Diffuse - dilavamento superfici urbane			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
2.2 Diffuse - agricoltura			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
2.2 Diffuse – agricoltura Soglie di valutazione	media annua ponderata fosforo totale max circolazione (≥ 20 mcg/L) *															X
	media annua azoto totale (> 1,5 mg/L N)		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X			
	media annua fosforo totale (> 0.15 mg/L)		X	X	X	X	X	X	X		X					
	media annua nitrati (> 10 mg/L)			X				X	X			X	X			
	impatto da sostanze tabella 1/A e 1/B - almeno una sostanza > 30% - riscontri/n misure			X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	
	impatto da pesticidi tabella 1/A e 1/B - almeno una sostanza > 30% riscontri/n misure			X		X	X	X	X		X	X	X			
	media annua O in % sat (<75%)						X				X					
	media annua COD (> 10 mg/L O2)		X	X		X	X	X	X		X					
	media annua Escherichia Coli (> 1000 UFC/100ml)		X	X	X	X	X	X	X		X					
2.4 Diffuse - trasporti (MBC)			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	
2.5 Diffuse - siti contaminati/siti industriali abbandonati (MBC)			X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X
2.6 Diffuse - scarichi non allacciati alla fognatura (MAC)		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
3.1 Prelievi/diversioni - uso agricolo (MAC)						X	X	X								X
3.2 Prelievi/diversioni - uso civile potabile (MAC)		X	X					X							X	
3.3 Prelievi/diversioni - uso industriale (MAC)			X					X								
3.5 Prelievi/diversioni - uso idroelettrico (MBC)			X										X		X	

Tabella 15. Tipologie di pressioni insistenti sul corpo idrico sotterraneo dell' Unità terrigena della valle dei Fiumi Sacco, Liri e Garigliano (DQ009)

nome corpo idrico	1.5.2 Puntuali - siti contaminati/siti industriali abbandonati (MBC)	1.6.2 Puntuali - discariche (MBC)	2.1 Diffuse - dilavamento superfici urbane (MAC)	2.2.1 Diffuse - agricoltura (MAC)	2.2.2 Diffuse - agricoltura (MAC)	2.6 Diffuse - scarichi non allacciati alla fognatura (MAC)	ind222+26cum (MAC)	3.1 Prelievi/diversioni - uso agricolo (MAC)	3.2 Prelievi/diversioni - uso civile potabile (MAC)	3.3 Prelievi/diversioni - uso industriale (MAC)	3. Prelievo cumulato (MAC)	Media annua Nitrati (>25mg/L)	Riscontri positivi Nichel valori > LOQ	Riscontri positivi Cromo VI presenza valori > LOQ	Concentrazione media annua della somma di tutti i VOC > 0
Unità terrigena delle valli dei Fiumi Sacco, Liri e Garigliano	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

3.1.7.2 Inquinamento da sostanze prioritarie

La qualità delle acque superficiali e sotterranee nella Valle del Sacco continua a rappresentare una delle principali criticità ambientali del territorio. I monitoraggi dell'ARPA Lazio hanno evidenziato la presenza persistente e diffusa di contaminanti classificati come sostanze prioritarie ai sensi della direttiva 2000/60/CE e ss.mm.ii.

L'esaclorocicloesano, in particolare nella sua forma isomerica β-HCH, rappresenta storicamente l'inquinante più noto e diffuso nella Valle del Sacco. Tale composto organoclorurato, utilizzato per decenni come pesticida, è stato rinvenuto con frequenza elevata nei corpi idrici superficiali, e con concentrazioni superiori agli SQA, tanto da comportare l'assegnazione dello stato chimico non buono ai corpi idrici dove è stato riscontrato (Fiume Sacco 3, 4 e 5).

La sua presenza è associata all'attività industriale pregressa e allo smaltimento improprio di rifiuti chimici. Nonostante le misure di contenimento adottate, l'esaclorocicloesano permane nell'ambiente a causa della sua elevata persistenza e bassa degradabilità.

Un'altra fonte di contaminazione significativa è rappresentata dai metalli pesanti, in particolare arsenico e mercurio. Tali elementi sono stati rilevati in vari punti della rete di monitoraggio, sia superficiale che sotterranea, con concentrazioni superiori agli SQA in alcuni casi localizzati. L'origine è attribuibile sia a fonti naturali (per quanto riguarda l'arsenico), sia a scarichi industriali e attività agricole pregresse. L'accumulo di questi metalli nei sedimenti fluviali rappresenta inoltre un rischio per la fauna acquatica e per la salute umana, in caso di esposizione prolungata.

Un'ulteriore classe di contaminanti rilevata in alcune aree della Valle del Sacco riguarda i composti alifatici alogenati, principalmente tricloroetilene, tetracloroetilene e altri solventi clorurati.

Queste sostanze, impiegate in passato in processi di sgrassaggio industriale, sono state individuate prevalentemente nelle acque sotterranee, in particolare nei pozzi ad uso potabile o agricolo, evidenziando contaminazioni localizzate ma persistenti. La loro presenza può risultare critica in quanto si tratta di composti volatili, tossici e cancerogeni, con un'elevata mobilità nelle falde e una forte persistenza. In alcuni casi, le concentrazioni rilevate hanno superato gli SQA, rendendo necessaria l'interdizione temporanea di pozzi e l'avvio di indagini specifiche per la mappatura e bonifica delle sorgenti di contaminazione.

Negli ultimi anni, grazie a campagne di monitoraggio più avanzate, sono stati identificati anche inquinanti emergenti non precedentemente rilevati. Tra questi spiccano:

- PFOS (acido perfluoroottansolfonico): composto appartenente ai PFAS, utilizzato in processi industriali e prodotti di largo consumo. È noto per la sua elevata persistenza e tossicità. È stato rilevato in alcuni campioni di acque superficiali (quali il Fiume Sacco 5 e nel Lago di Canterno, restituendo uno stato chimico non buono)

- Cipermetrina: insetticida di sintesi appartenente alla classe dei piretroidi, ritrovato in concentrazioni significative in aree agricole. Rappresenta un rischio per gli ecosistemi acquatici, in particolare per gli organismi non target. Essa è stata rilevata a concentrazioni superiori all'SQA nei Fiumi Sacco 3 e 5 e nel Lago di Canterno.

- Glifosato e AMPA: erbicida ampiamente utilizzato in ambito agricolo e urbano, recentemente rilevato in diverse stazioni di monitoraggio, soprattutto nella sua forma di metabolita (AMPA). La sua presenza pone interrogativi sulla gestione sostenibile delle pratiche agricole. È stato rilevato in concentrazioni superiori all'SQA in un pozzo nel comune di Anagni ed è praticamente presente, sotto forma di AMPA, in tutti i corpi idrici superficiali. La sua presenza incide negativamente sulla valutazione dello stato ecologico dei corpi idrici, concorrendo ad una classificazione di stato non buona.

Il quadro complessivo mostra una situazione complessa e ancora lontana dal raggiungimento degli obiettivi di "buono stato" previsti dalla normativa europea e impone un approccio integrato e multidisciplinare.

3.2 ARIA

L'area oggetto di valutazione dal punto di vista della qualità dell'aria (Figura 19) è quella identificata come zona "Valle del Sacco" (codice IT1217), così come stabilito dalla zonizzazione di cui alla del.giunta.reg. n. 119 del 15 marzo 2022. Tale area, molto più estesa dell'omonima area geograficamente definita, copre una superficie di 2976,4 km^2, comprensiva di 86 comuni, con una popolazione complessiva di 627.438 abitanti.

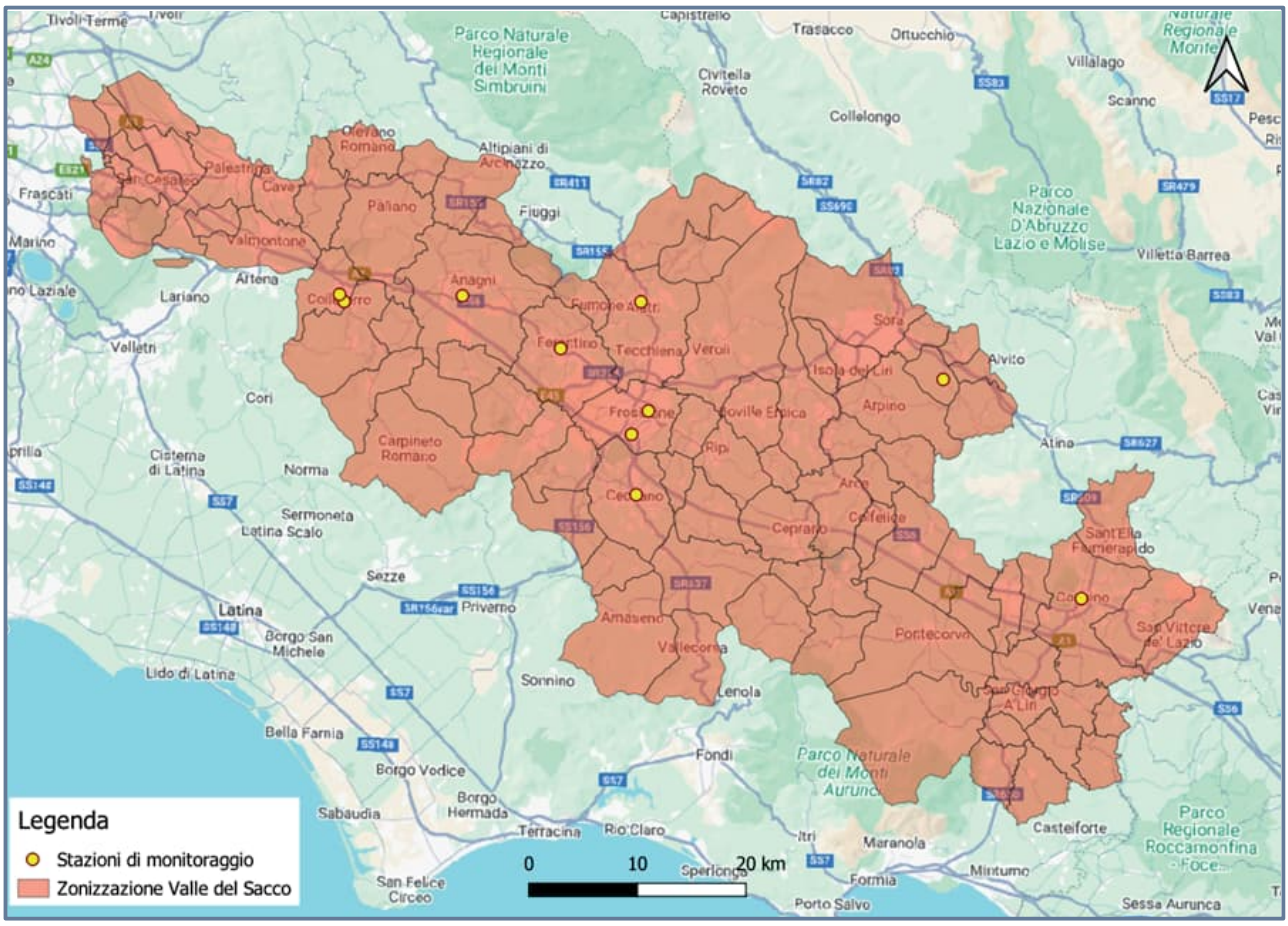


Figura 16. Perimetrazione della zona "Valle del Sacco" e ubicazione stazioni di monitoraggio

Di seguito viene analizzato lo stato della qualità dell'aria rilevata attraverso la rete di monitoraggio di stazioni fisse ubicate nel territorio oggetto di studio nel corso dell'anno 2024 e fornita, conseguentemente, una valutazione dettagliata delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici previsti dal decreto legislativo n. 155/2010.

Gli inquinanti che devono essere monitorati secondo la normativa vigente sono: PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2, NO_X, C_6H_6, SO_2, CO, O_3, benzo(a)pirene (composto rappresentante la classe degli idrocarburi policiclici aromatici, IPA), piombo, arsenico, cadmio, nichel e mercurio. La normativa stabilisce inoltre valori limite per garantire il raggiungimento degli obiettivi di qualità dell'aria, al fine di prevenire, evitare o mitigare gli effetti dannosi sulla salute umana e sull'ambiente nel suo complesso. Per ragioni di sintesi, Tabella 16 riporta solo i valori limite relativi agli inquinanti trattati nel documento, ossia quelli di cui si riportano i dati. Questi inquinanti sono monitorati in modo continuo dalle centraline, garantendo la disponibilità immediata dei dati senza necessità di ulteriori elaborazioni a posteriori, come invece accade nel caso di IPA e metalli.

Tabella 16. Valori limite previsti dal decreto legislativo n. 155/2010

Inquinante	Indicatore normativo	Periodo di mediazione	Valore stabilito	Numero di superamenti annui consentiti
PM_{10}	Valore limite protezione salute umana	24 ore	50 µg/m^3	35
	Valore limite protezione salute umana	Anno civile	40 µg/m^3	-
$PM_{2,5}$	Valore limite protezione salute umana	Anno civile	25 µg/m^3	-
NO_2	Valore limite protezione salute umana	1 ora	200 µg/m^3	18
	Valore limite protezione salute umana	Anno civile	40 µg/m^3	-
Benzene	Valore limite protezione salute umana	Anno civile	5 µg/m^3	-
SO_2	Valore limite protezione salute umana	1 ora	350 µg/m^3	24
	Valore limite protezione salute umana	24 ore	125 µg/m^3	3
CO	Valore limite protezione salute umana	Massima media su 8h consecutive	10 mg/m^3	-
O_3	Valore obiettivo protezione della salute umana	Massima media su 8h consecutive nell'anno	120 µg/m^3	Da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni
	Obiettivo a lungo termine protezione della salute umana	Massima media su 8h consecutive nell'anno	120 µg/m^3	-
	Soglia di informazione	1 ora	180 µg/m^3	-
	Soglia di allarme	1 ora	240 µg/m^3	-
	Valore obiettivo protezione della vegetazione (AOT40)	Da maggio a luglio (media su 5 anni)	18.000 µg/m^3*h	-
Piombo	Valore limite protezione salute umana	Anno civile	0,5 µg/m^3	-
Arsenico	Valore obiettivo*	Anno civile	6 ng/m^3	-
Cadmio	Valore obiettivo*	Anno civile	5 ng/m^3	-
Nichel	Valore obiettivo*	Anno civile	20 ng/m^3	-
Benzo(a) pirene	Valore obiettivo*	Anno civile	1 µg/m^3	-

Note: *Il valore obiettivo è riferito al tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione del PM_{10} del materiale particolato, calcolato come media su un anno civile

3.2.1 Il sistema di monitoraggio

L'ARPA Lazio supporta la Regione Lazio nelle attività di valutazione della qualità dell'aria sul territorio condotte nell'ottica di una progressiva integrazione dei tre principali strumenti disponibili:

- il sistema regionale di rilevamento della qualità dell'aria costituito da una rete di stazioni fisse di monitoraggio dislocate sul territorio per la misura della concentrazione delle sostanze inquinanti. Tale apparato è utilizzato sia per le misure in continuo della concentrazione di PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_x, C_6H_6, SO_2, CO e O3, sia per la determinazione della concentrazione di IPA e metalli su filtri di particolato atmosferico, non automatizzabile poiché richiede l'esecuzione dell'analisi chimica in laboratorio;

- le misure indicative condotte mediante laboratori mobili, vale a dire attraverso veicoli equipaggiati con gli stessi analizzatori installati presso le stazioni della rete fissa di monitoraggio. Tali misure sono effettuate per esplorare porzioni di territorio più o meno distanti dai punti fissi di misura, con lo scopo di aumentare e migliorare la conoscenza dello stato della qualità dell'aria sul territorio regionale. La differenza sostanziale tra le misure della rete di monitoraggio fissa e le misure indicative è la continuità temporale. Nel primo caso, infatti, la copertura temporale del monitoraggio è continua e ininterrotta, nel secondo caso è legata alla durata della campagna di misura che, in ogni caso, deve coprire almeno il 14% di un anno civile;

- il sistema modellistico regionale, rappresentato dai modelli numerici di trasporto e dispersione degli inquinanti in aria per la determinazione della distribuzione spaziale e temporale delle concentrazioni degli inquinanti, modelli utilizzati sia in modalità previsionale che ricostruttiva. Con l'utilizzo di tali modelli l'ARPA garantisce la valutazione della qualità dell'aria (secondo quanto indicato dal d.lgs. 155/2010 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa") sull'intero territorio regionale e la previsione fino a cinque giorni della stessa;

- Il sistema di monitoraggio si avvale inoltre di una rete micro-meteorologica composta da 9 stazioni di misura, fondamentali per determinare, attraverso il sistema modellistico, la distribuzione spaziale e temporale delle concentrazioni degli inquinanti. La dotazione strumentale implementata in ognuna delle stazioni è costituita da un anemometro ultrasonico, un pluviometro, un termo-igrometro, due radiometri e due pirgeometri.

All'interno della zona classificata come "Valle del Sacco", sono presenti 10 stazioni di monitoraggio, ubicate nelle aree più critiche dell'intero comprensorio e attrezzate con diversi analizzatori, come riportato nella Tabella 17

Tabella 17. Localizzazione e dotazione strumentale delle stazioni della zona Valle del Sacco nel 2024

	Comune	Stazione	Tipologia*	Lat.	Long.	PM_{10}	$PM_{2,5}$	NO_X	BTEX	SO_2	CO	O_3
Zona Valle del Sacco	Colleferro	Colleferro Oberdan	I, SB	41.730447	13.004056	●		●		●	●	●
	Colleferro	Colleferro Europa	I, SB	41.725005	13.009668	●	●	●				
	Alatri	Alatri	UB	41.727296	13.338286	●		●				
	Anagni	Anagni San Francesco	UB	41.731945	13.140334	●		●				
	Cassino	Cassino	UT	41.488460	13.830728	●	●	●				
	Ceccano	Ceccano	UT	41.571594	13.338713	●						
	Ferentino	Ferentino	UT	41.687898	13.265568	●	●	●				
	Fontechiari	Fontechiari	RB	41.669172	13.674326	●	●	●		●		●
	Frosinone	Frosinone Mazzini	UB	41.639609	13.348977	●	●	●	●			●
	Frosinone	Frosinone Scalo	UT	41.624311	13.330917	●		●	●		●	

*U-urbana, S-suburbana, R-rurale, I-industriale; B-background; T-traffico

3.2.2 Lo stato di qualità dell'aria

Di seguito (Tabella 18) sono illustrati i dati ottenuti dal monitoraggio della qualità dell'aria, effettuato nel periodo 01/01/2024 - 31/12/2024, relativi a tutti gli inquinanti misurati costantemente dalle centraline fisse della rete regionale di monitoraggio presente all'interno dell'area oggetto di questa trattazione. I superamenti dei limiti stabiliti dal d.lgs. n. 155/2010 sono evidenziati in grassetto. Inoltre, per gli inquinanti più rilevanti, ossia per quelli che hanno storicamente rappresentato una criticità per la qualità dell'aria della Valle del Sacco, sono riportati gli andamenti mensili. Questo approccio consente di identificare variazioni stagionali e tendenze ricorrenti e fornisce un quadro più dettagliato che può essere utile per comprendere meglio i periodi dell'anno in cui si verificano i picchi di inquinamento e per sviluppare strategie di intervento più mirate.

Tabella 18. Dati di qualità dell'aria nell'anno 2024

Zona Valle del Sacco	Comune	Stazione	Tipologia*	Pm_{10}		$PM_{2.5}$	NO_x		C_6H_6	SO_2		CO	O_3			
				Media annua (µg/m³)	N. superamenti valore limite giornaliero (50 µg/m³)	Media annua (µg/m³)	Media annua (µg/m³)	N. superamenti valore limite media oraria (200 µg/m³)	Media annua (µg/m³)	N. superamenti valore limite medio giornaliero (125 µg/m³)	N. superamenti valore limite medio orario (350 µg/m³)	N. superamenti max. media mobile 8 hh	* AOT40 (µg/m³)	** Valore Obiettivo	N. superamenti valore limite orario (180 µg/m³)	N. superamenti valore limite orario (240 µg/m³)
	Colleferro	Colleferro Oberdan	I, SB	28	25	--	24	0	--	0	0	0	4573	1	0	0
	Colleferro	Colleferro Europa	I, SB	30	**47**	17	20	0	--	--	--	--	--	--	--	--
	Alatri	Alatri	UB	25	30	--	29	0	--	--	--	--	--	--	--	--
	Anagni	Anagni San Francesco	UB	22	13	--	13	0	--	--	--	--	--	--	--	--
	Cassino	Cassino	UT	33	**56**	20	31	0	--	--	--	--	--	--	--	--
	Ceccano	Ceccano	UT	35	**79**	--	24	0	--	--	--	--	--	--	--	--
	Ferentino	Ferentino	UT	27	33	16	22	0	--	--	--	--	--	--	--	--
	Fontechiari	Fontechiari	RB	15	7	11	4	0	--	0	0	--	13031	9	0	0
	Frosinone	Frosinone Mazzini	UB	23	19	12	21	0	0.9	--	--	--	5327	0	0	0
	Frosinone	Frosinone Scalo	UT	31	**70**	--	25	0	1.8	--	--	0	--	--	--	--

*U-urbana, S-suburbana, R-rurale, I-industriale; B-background; T-traffico

I dati di qualità dell'aria registrati nel corso del 2024 evidenziano importanti e significative criticità, relative in particolare al PM_{10}. La stazione di Ceccano presenta il valore medio annuo più elevato (35 µg/m³) e registra ben 79 superamenti del valore limite giornaliero, seguita da Frosinone Scalo (31 µg/m³, con 70 superamenti) e Cassino (33 µg/m³, con 56 superamenti). Il $PM_{2.5}$ raggiunge valori significativi, a ridosso del valore limite dettato dalla norma, a Cassino (20 µg/m³) e a Colleferro Europa (17 µg/m³).

Anche il biossido di azoto (NO_2) mostra concentrazioni non trascurabili, con il valore medio annuo più alto registrato a Cassino (31 µg/m³), pur rimanendo al di sotto dei limiti normativi. Per quanto riguarda l'O_3, la stazione di Fontechiari registra il valore AOT40 più elevato (13.031 µg/m³*h), accompagnato da 9 superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana.

In generale, la qualità dell'aria nella Valle del Sacco rimane una delle più critiche del Lazio, con concentrazioni di PM_{10} e $PM_{2.5}$ che rappresentano la criticità più rilevante. Questo sottolinea la persistente necessità di strategie integrate per ridurre le emissioni inquinanti, soprattutto nei centri urbani più esposti come Ceccano, Colleferro, Cassino e Frosinone.

3.2.2.1 Particolato atmosferico

Col termine "materiale particolato (PM)" viene indicato un insieme molto eterogeneo di particelle solide o liquide (aerosol) che, a causa delle ridotte dimensioni caratteristiche, restano sospese nella parte bassa della troposfera per periodi più o meno lunghi. Le particelle che lo costituiscono sono di varia dimensione e natura e possono contenere diverse sostanze, tra le quali sabbia, ceneri, polveri, fuliggine, sostanze silicee, sostanze vegetali, composti metallici, sali, elementi come il piombo e altri metalli pesanti, composti chimici inorganici (solfato di ammonio e nitrato di ammonio ecc.) e composti chimici organici. Il particolato atmosferico nella frazione del PM_{10}, definito come materiale particolato avente un diametro aerodinamico inferiore a 10 µm, rappresenta attualmente il parametro indice per la rilevazione delle particelle disperse in aria ambiente.

I due grafici a barre che seguono (Figura 17 e Figura 18) illustrano il contributo mensile in percentuale delle centraline, rispettivamente, alla concentrazione totale e al numero di superamenti del valore limite giornaliero di PM_{10} quale principale inquinante atmosferico che da anni determina la criticità più significativa in quest'area. L'obiettivo è analizzare il contributo percentuale delle diverse stazioni di monitoraggio alla concentrazione media totale degli inquinanti, evidenziando le differenze spaziali e temporali. Questo approccio permette di individuare le aree e i periodi dell'anno con maggior pressione emissiva, fornendo informazioni utili per la pianificazione di interventi mirati al fine di ottenere una mitigazione dell'inquinamento atmosferico.

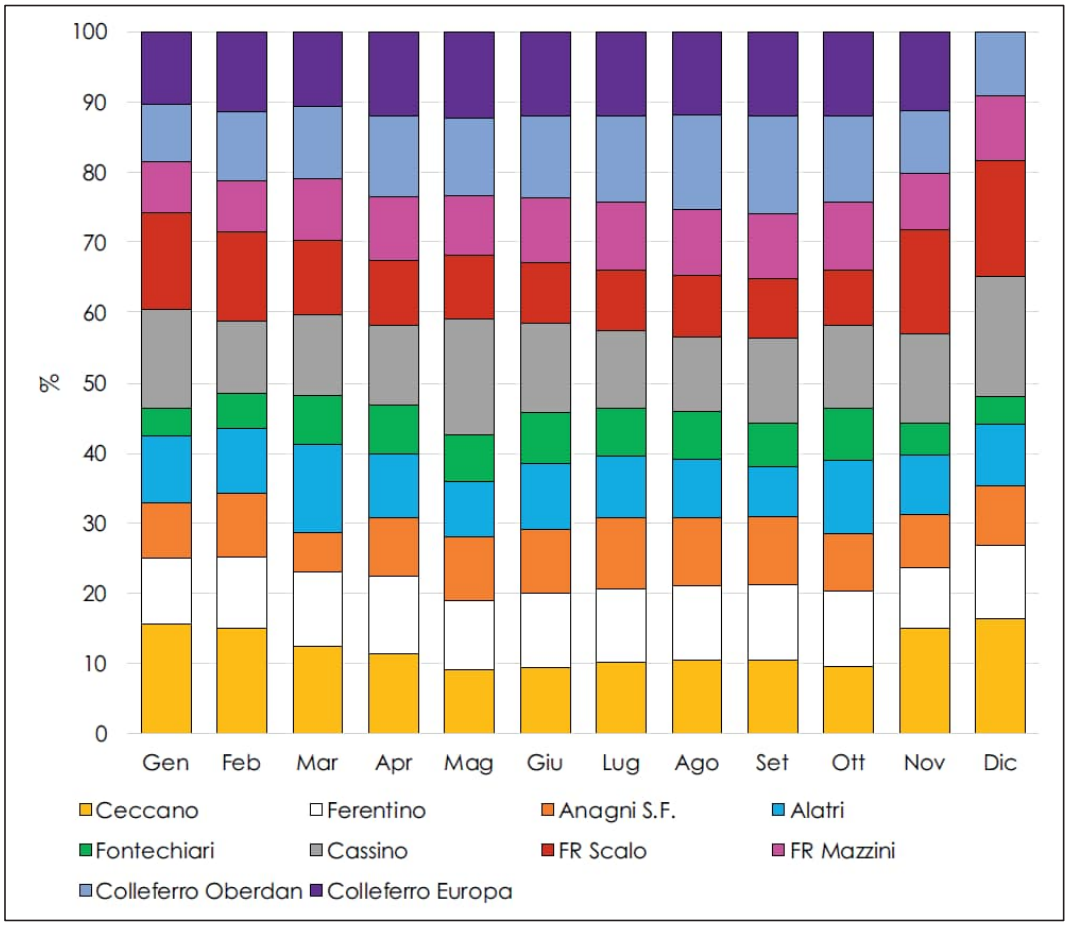


Figura 17. Andamento mensile del contributo percentuale di ciascuna centralina alla concentrazione di PM_{10} nella Valle del Sacco

Durante i mesi più caldi, la distribuzione del contributo percentuale tra le centraline appare abbastanza uniforme. Questo potrebbe essere legato a fenomeni stagionali, come una maggiore capacità di dispersione dell'atmosfera o a una diminuzione della persistenza di specifiche sorgenti di PM_{10} di natura stagionale. Nei mesi invernali (da dicembre a febbraio), il contributo di alcune centraline (come Ceccano e Frosinone Scalo) tende ad aumentare, probabilmente a causa di fonti emissive stagionali, come il riscaldamento domestico, e delle condizioni micrometeorologiche locali, che non favoriscono i fenomeni di dispersione degli inquinanti.

Ceccano (arancione) e Frosinone Scalo (rosso) mostrano un contributo percentuale elevato e costante, suggerendo la presenza di una maggiore densità di sorgenti emissive in quelle aree o la persistenza di condizioni favorevoli all'accumulo di PM_{10}. Al contrario, Fontechiari (verde) e Colleferro Europa (viola) contribuiscono meno, indicando un impatto minore.

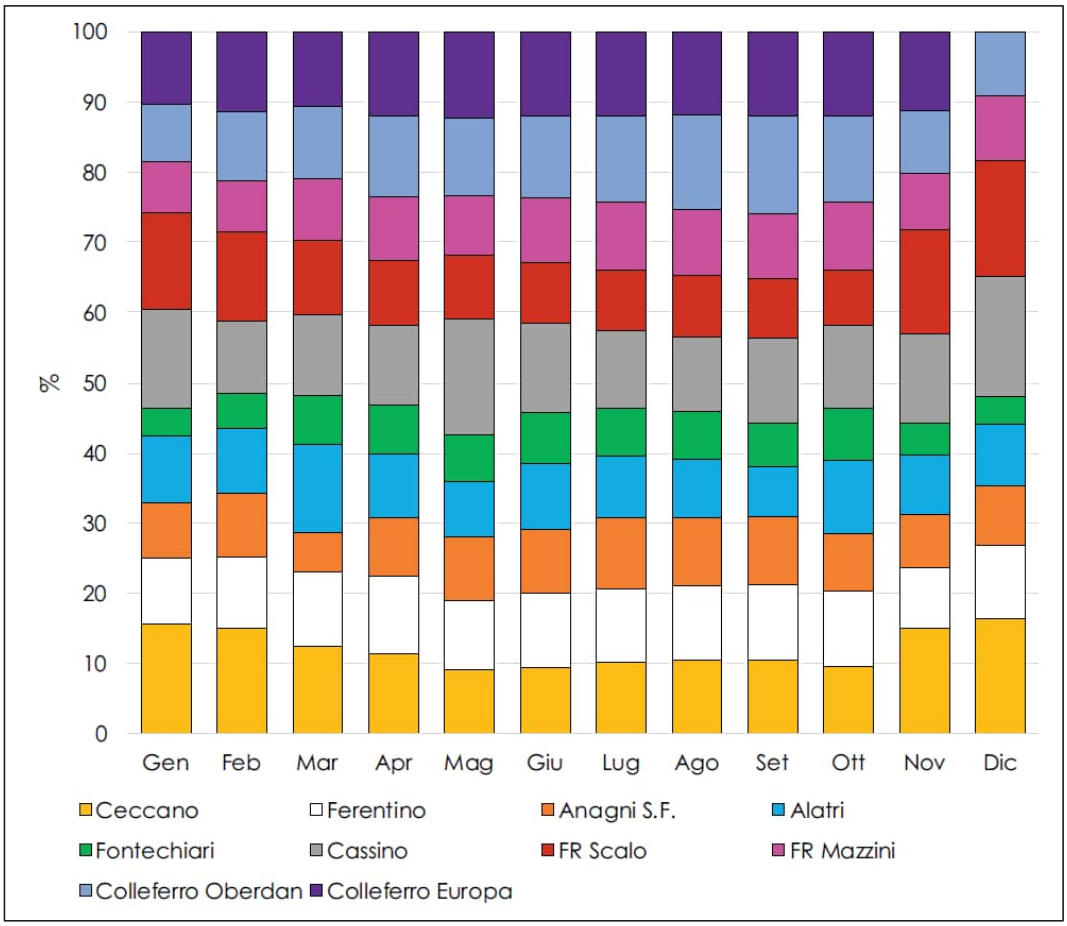


Figura 18. Andamento mensile del contributo percentuale di ciascuna centralina al numero di superamenti del valore limite giornaliero di PM_{10} nella Valle del Sacco

In merito all'andamento mensile del contributo percentuale di ogni centralina al numero totale dei superamenti registrati nella zona analizzata, si nota che nei mesi invernali (gennaio-marzo e novembre-dicembre), i valori sono distribuiti uniformemente tra i siti di misura, indicando che più centraline hanno registrato superamenti, probabilmente attribuibili a sorgenti stagionali predominanti e a condizioni meteorologiche che limitano la dispersione degli inquinanti.

In estate (giugno-agosto), alcune centraline, come Colleferro Europa e Colleferro Oberdan, dominano il totale, poiché risultano le uniche centraline a registrare superamenti, probabilmente dovuti a specifiche sorgenti emissive locali, a caratteristiche microclimatiche o, ancora, a fenomeni isolati.

A giugno, mese estivo tipicamente caratterizzato da una bassa frequenza di superamenti del valore limite giornaliero di PM_{10}, tutte le centraline hanno registrato superamenti.

Questo risultato è particolarmente significativo, poiché include anche la centralina di Fontechiari, che raramente registra superamenti. Ciò si deve a un importante fenomeno di trasporto di sabbie desertiche che ha investito gran parte dell'Italia negli ultimi giorni di giugno, causando un innalzamento diffuso delle concentrazioni di PM_{10} su scala regionale e nazionale. Questo episodio, ampiamente documentato da analisi dei flussi delle masse d'aria e dai modelli di dispersione, ha avuto un impatto significativo sulla qualità dell'aria.

Si ritiene opportuno presentare anche un'analisi pluriennale approfondita dei dati di qualità dell'aria, raccolti tra il 2020 e il 2024, al fine di fornire un quadro complessivo sull'evoluzione delle concentrazioni di alcuni inquinanti atmosferici nel medio termine e di valutare se ci sia stata una tendenza positiva o negativa degli andamenti. Nello specifico, verranno analizzati e discussi gli andamenti di PM_{10} e $PM_{2.5}$. Gli inquinanti NO_2, C_6H_6, SO_2, CO si mantengono da anni stabilmente al di sotto delle soglie limite definite dalla normativa vigente, a seguito dell'implementazione di specifiche politiche di controllo delle emissioni. Di conseguenza, tali inquinanti non sono oggetto di approfondimento nel presente documento, in quanto non ritenuto necessario.

Si precisa che l'analisi delle serie storiche è stata condotta esclusivamente per le centraline che dispongono di dati per la maggior parte degli anni considerati, garantendo così la completezza e la maggiore rappresentatività del set di dati utilizzato.

Per tutte le centraline fisse di qualità dell'aria che rilevano la concentrazione di PM_{10} e di $PM_{2,5}$ è stato determinato il trend temporale di lungo periodo delle concentrazioni dell'inquinante in oggetto. Di seguito (Figura19, Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23, Figura 24) si riportano i dati e alcune considerazioni scaturite dal confronto tra le concentrazioni misurate e gli standard di legge (d.lgs. n. 155/2010).

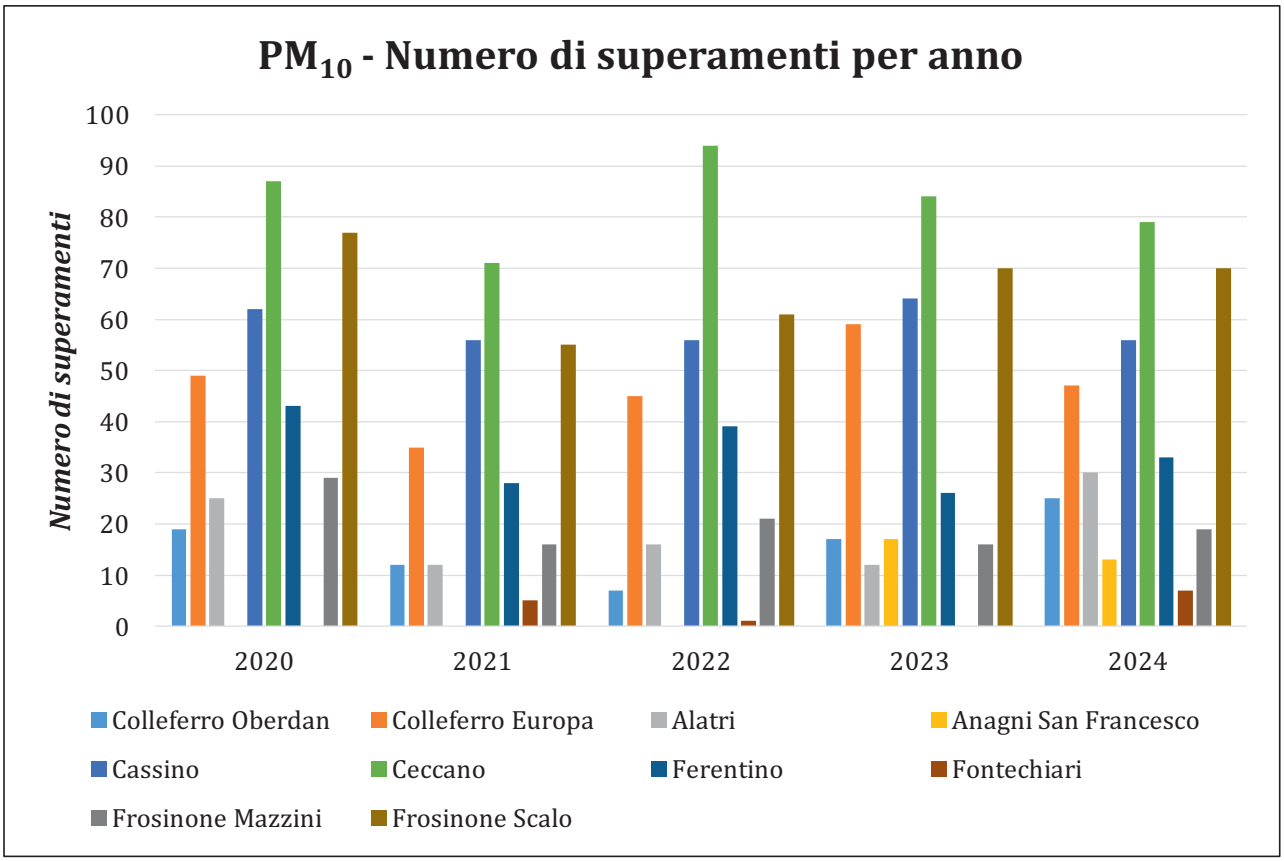


Figura 19. Numero di superamenti del PM_{10} di ciascuna centralina per anno

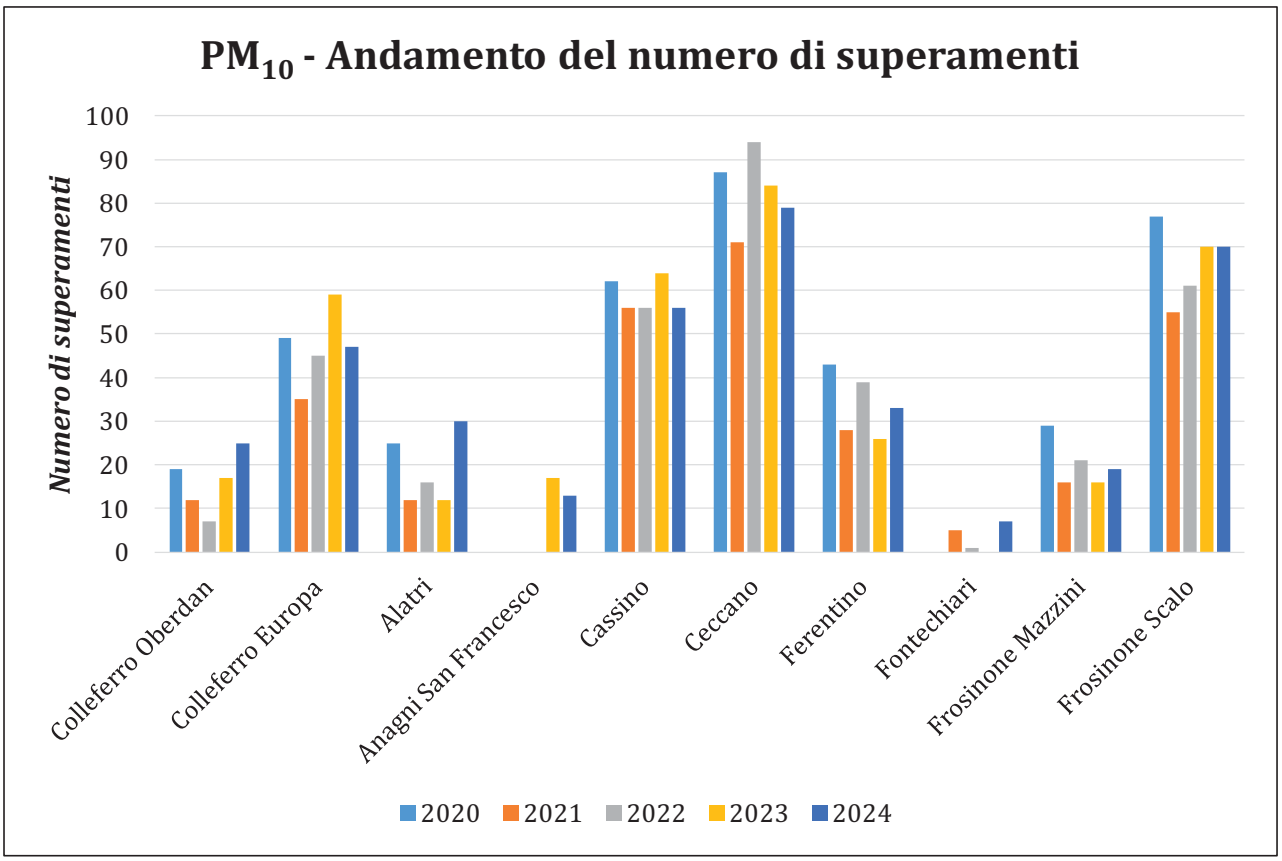


Figura 20. Andamento dei superamenti del PM_{10} di ciascuna centralina per anno

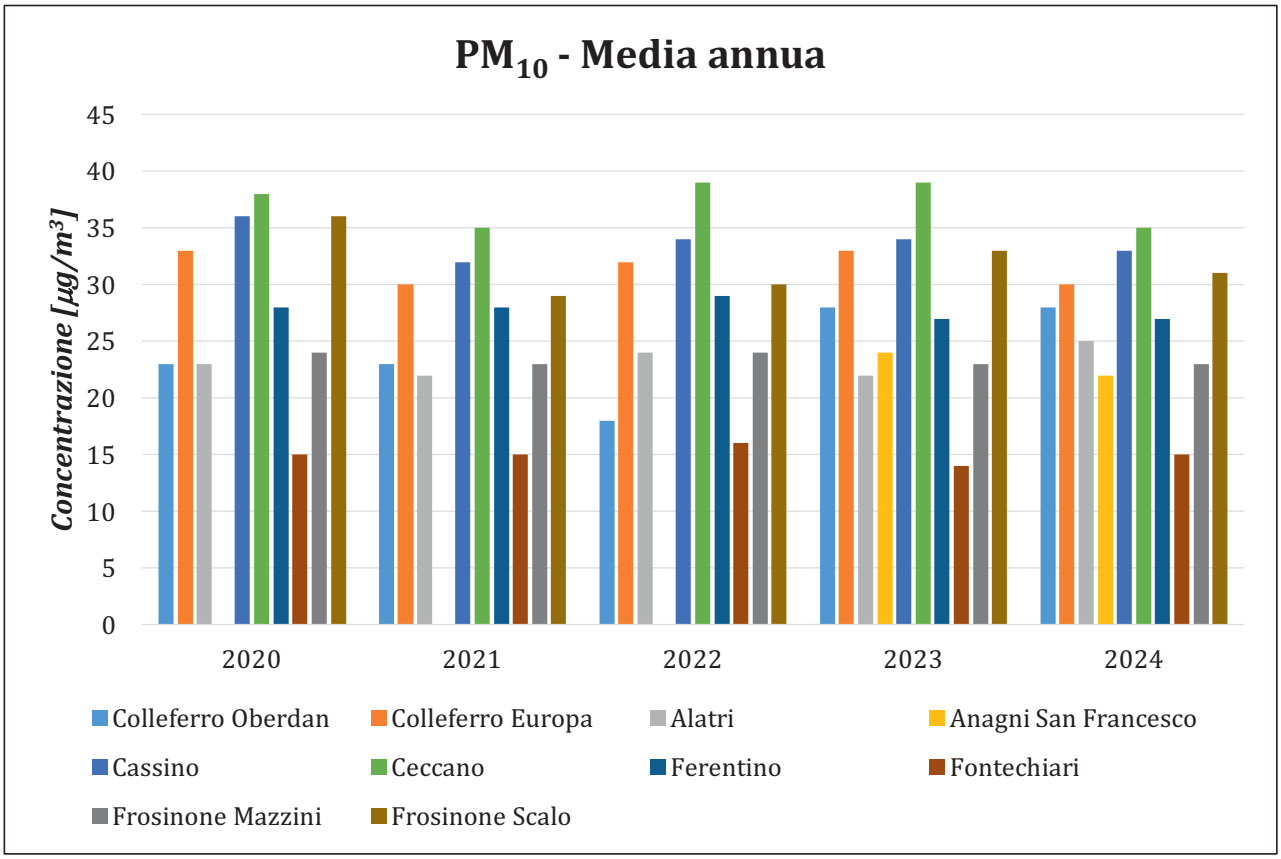


Figura 21. Media annua del PM_{10} di ciascuna centralina per anno

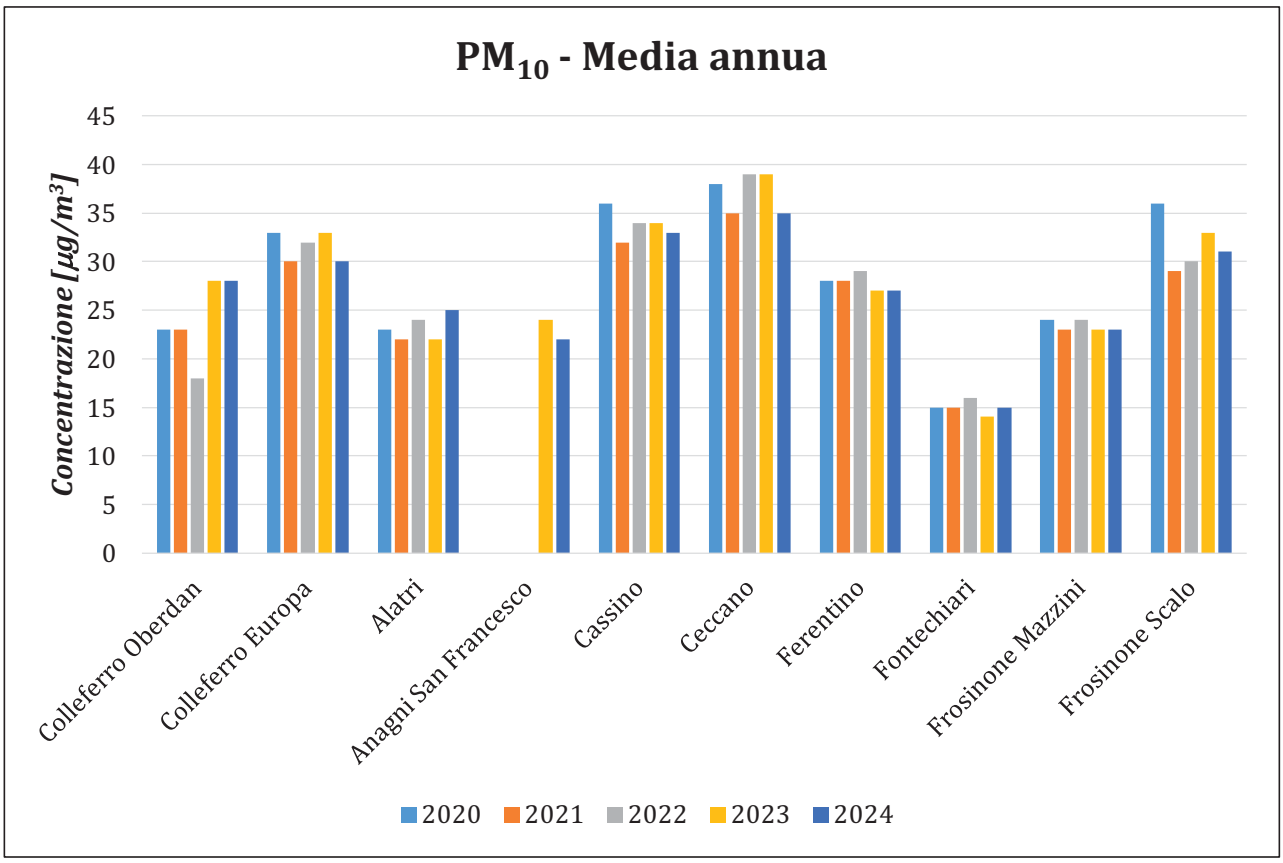


Figura 22. Andamento della media annua del PM_{10} di ciascuna centralina per anno

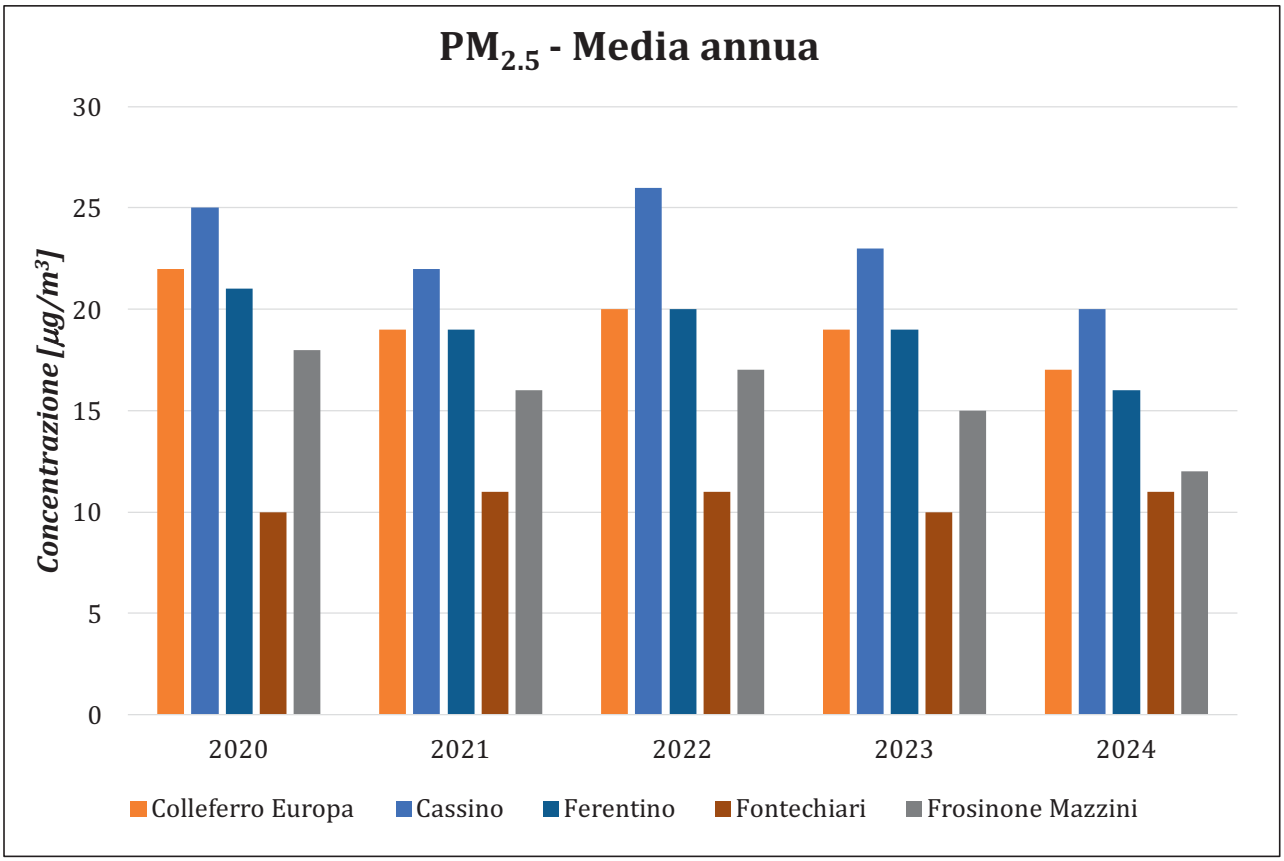


Figura 23. Media annua del $PM_{2,5}$ di ciascuna centralina per anno

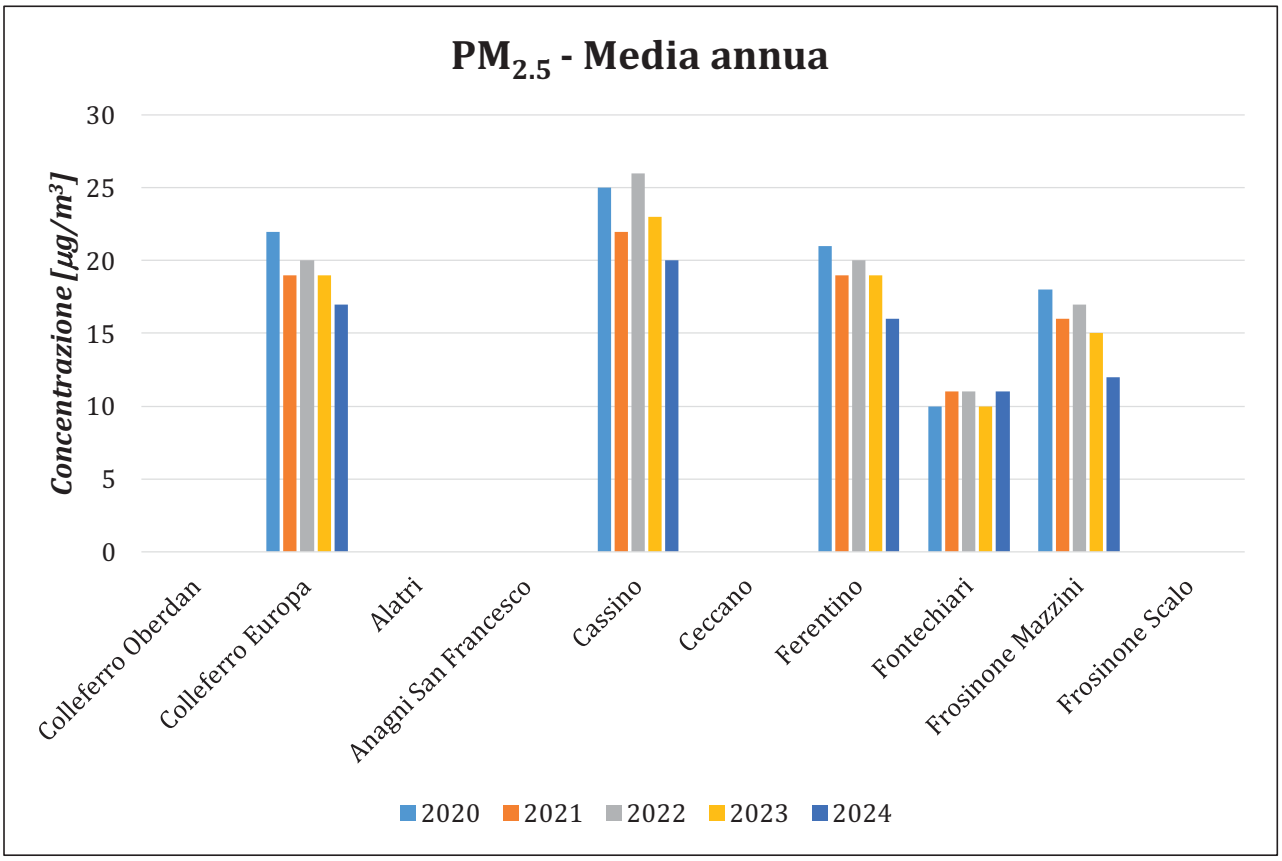


Figura 24. Andamento della media annua del PM2,5 di ciascuna centralina per anno

Dal 2020, le concentrazioni medie annuali di PM_{10} registrate dalle centraline di monitoraggio sono rimaste costantemente al di sotto del limite normativo, pur registrando valori prossimi al limite. I diversi andamenti che si evidenziano tra le varie stazioni sono imputabili principalmente alle differenti portate delle emissioni, che risultano maggiori nelle zone più densamente popolate. In merito ai superamenti del valore limite di concentrazione giornaliera di PM_{10}, la metà delle centraline ubicate sul territorio sono risultate essere fuori norma in tutti gli anni considerati. Il numero dei superamenti registrati da alcune stazioni (Cassino, Ceccano e Frosinone Scalo) è sistematicamente al di sopra del limite normativo.

Le concentrazioni di $PM_{2.5}$, invece, sono rilevate da cinque delle dieci centraline (Colleferro Europa, Cassino, Ferentino, Fontechiari, Frosinone Mazzini). Per questo inquinante, il d.lgs. 155/2010 prevede che la media annua non deve superare i 25 µg/m³, valore che nel 2022 è stato superato di poco dalla centralina di Cassino (26 µg/m³) . Tutti gli altri valori si attestano sotto il valore limite previsto dalla normativa. A partire dal 2020, si nota una generale diminuzione della concentrazione media annua per tutte le stazioni della rete, fatta eccezione dell'anno 2022 in cui i valori subiscono un incremento, per poi riprendere a decrescere a partire dall'anno successivo.

3.2.2.2 Analisi su filtro e speciazione

La normativa sulla qualità dell'aria prevede anche la determinazione quantitativa della concentrazione di IPA e metalli su filtri di PM campionati in stazioni rappresentative della rete di misura. Per la zonizzazione della Valle del Sacco le stazioni individuate sono Colleferro Europa, Frosinone Scalo, Frosinone Mazzini e Fontechiari. Di seguito si riportano i dati relativi all'anno 2024 (Tabella 19,Tabella 20).

Il calcolo della concentrazione media dei campioni analizzati è stato eseguito sostituendo i dati inferiori al limite di rilevabilità (Limit Of Detection, LOD) con valori pari a metà del LOD, secondo il criterio di stima medium bound.

Per il benzo(a)pirene viene individuato un valore obiettivo riferito al tenore totale dell'inquinante presente nella frazione di PM_{10}, e calcolato come media su un anno civile pari ad 1 ng/m^3. Per quanto riguarda i metalli, il d.lgs. n. 155/2010 prevede un valore limite per il piombo (Pb) e un valore obiettivo per arsenico (As), cadmio (Cd) e nichel (Ni), calcolati come media su un anno civile. Per As, Cd e Ni la norma stabilisce rispettivamente valori obiettivo pari a 6 ng/m^3, 5 ng/m^3 e 20 ng/m^3, per il Pb il valore limite è di 0.5 µg/m^3.

Le analisi per la determinazione quantitativa della concentrazione elementare dei metalli sono eseguite a partire da campioni di PM_{10}, opportunamente trattati e analizzati mediante spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, ICP-MS).

Tabella 19. Concentrazione media annua di benzo(a)pirene nel 2024

IPA		
Stazione	**Benzo(a)pirene**	**Numero di campioni**
Colleferro Europa	0,8	130
Frosinone Scalo	1,7	123
Frosinone Mazzini	0,54	129
Fontechiari	0,38	60

Tabella 20. Concentrazione media annua di arsenico, cadmio, nichel e piombo nel 2024

METALLI					
Stazione	**As**	**Cd**	**Ni**	**Pb**	**Numero di campioni**
Colleferro Europa	0,39	0,18	1,4	0,0047	58
Frosinone Scalo	0,31	0,13	0,98	0,0033	61
Frosinone Mazzini	0,25	0,16	0,94	0,0031	57
Fontechiari	0,17	0,11	1,4	0,0036	60

Il superamento del valore limite annuale per quanto riguarda gli IPA è stato riscontrato esclusivamente nella centralina di Frosinone Scalo, la quale ha registrato una concentrazione media annua di benzo(a)pirene pari a 1.7 ng/m^3; per quanto riguarda i metalli, le concentrazioni medie annue sono risultate inferiori ai relativi valori limite imposti dal d.lgs. n. 155/2010.

Nell'ambito delle attività di approfondimento che l'Agenzia svolge a supporto della valutazione della qualità dell'aria e della definizione delle misure di contrasto all'inquinamento, è stata inclusa la caratterizzazione chimica dei campioni di PM, vale a dire la determinazione quantitativa delle concentrazioni di specifici analiti organici e inorganici che formano l'aerosol atmosferico.

Infatti, sebbene dal punto di vista normativo la concentrazione di massa del PM sia il principale parametro preso in esame per la valutazione della qualità dell'aria, questo indicatore non prende in considerazione le specifiche proprietà fisico-chimiche delle particelle che costituiscono il PM, la cui conoscenza è fondamentale per l'individuazione e la definizione del ruolo e peso delle sorgenti emissive che insistono su un'area. Infatti, com'è noto, il PM è costituito da un insieme di particelle con composizione fortemente eterogenea in termini di dimensioni, origine e composizione chimica che dipende dai diversi contributi delle sorgenti emissive.

Di conseguenza, la conoscenza approfondita della composizione chimica del PM risulta essenziale anche per l'adeguata pianificazione di strategie di controllo e per l'attuazione di specifiche politiche di intervento, al fine di proteggere la salute dei cittadini e di verificare l'efficacia della regolamentazione e del controllo delle emissioni di PM. Tutto ciò assume ulteriore importanza anche alla luce dell'entrata in vigore della direttiva 2024/2881 sulla qualità dell'aria che pone l'attenzione sulla comprensione dettagliata della composizione chimica del PM.

L'attività, iniziata a marzo 2024, ha interessato 4 stazioni della rete regionale di monitoraggio e per la zona Valle del Sacco è stata individuata la stazione di Frosinone Scalo.

Sui filtri della centralina vengono eseguite le analisi prescritte dal d.lgs. n. 155/2010 e, in aggiunta:

- l'analisi in cromatografia ionica per la determinazione quantitativa della concentrazione degli ioni nella frazione solubile del PM e, nello specifico, delle specie inorganiche cationiche e anioniche;

- analisi dello ione ammonio ($NH4_{+}$), di origine secondaria e tracciante di attività industriale, agricola e zootecnica, ma che, su scala urbana locale, viene emesso anche dal traffico veicolare. L'analisi di inquinanti secondari è di supporto allo studio delle dinamiche di formazione in atmosfera del particolato secondario, può essere utile anche al il monitoraggio degli effetti della riduzione dei precursori primari sulle concentrazioni di PM;

- la determinazione quantitativa della concentrazione elementare di Ag (argento), Al (allumino), B (boro), Ba (bario), Be (berillio), Co (cobalto), Cr (cromo), Cu (rame), Fe (ferro), Mn (manganese), Mo (molibdeno), Sb (antimonio), Se (selenio), Sn (stagno), Th (torio), Tl (tallio), V (vanadio), Zn (zinco);

- l'analisi del levoglucosano (LVG), un anidrozucchero derivante dalla pirolisi della cellulosa e, per questo motivo, considerato un tracciante specifico dei fenomeni di combustione della biomassa, mediante cromatografia ionica.

La Tabella 21 presenta le statistiche descrittive delle concentrazioni di composti inorganici e marcatori specifici analizzati nei campioni di PM_{10} raccolti presso la stazione. Per ciascun analita sono riportati valori di media, deviazione standard, minimo e massimo nel periodo marzo–dicembre 2024. Tra gli elementi più abbondanti si segnalano l'alluminio (Al) e il ferro (Fe), traccianti tipici della componente crostale, con concentrazioni mediamente più elevate dovute verosimilmente al fenomeno di risollevamento attribuibile al passaggio dei veicoli. Sono, inoltre, ben rappresentati composti di origine antropica come il rame (Cu), lo zinco (Zn), il bario (Ba), i solfati (SO_4^{2-}) e il levoglucosano (LVG), indicatore delle combustioni di biomassa.

Tabella 21. Statistiche descrittive dei composti analizzati nei campioni di PM_{10}

Sostanze	UDM	Media	Dev. sta.	Min	Max
Al	ng/m³	194	394	12	3033
Ba	ng/m³	14	6,30	2,20	26
B	ng/m³	17	7,8	1	32
Ca^{2+}	µg/m³	0,67	0,32	0,20	1,80
Cl-	µg/m³	0,46	0,58	0,10	3,30
Co	ng/m³	0,55	0,33	0,10	0,78
Cr	ng/m³	3,10	1,40	0,87	6,50
Cu	ng/m³	12	6,4	2,3	36
Fe	ng/m³	403	269	97	1960
K^{+}	µg/m³	0,54	0,47	0,10	2,10
LVG	µg/m³	1,8	2,5	0,05	10
Mn	ng/m³	5,7	4,4	1,2	32
Mo	ng/m³	0,68	0,35	0,10	1,80
Na^{+}	µg/m³	0,95	0,66	0,10	2,20
Nh_{4+}	µg/m³	2,2	8,4	0,1	55
No_{3-}	µg/m³	2,1	0,9	1,2	6,8
Sb	ng/m³	0,80	0,45	0,50	2
Sn	ng/m³	1,7	0,78	0,5	3,7
So_{4-}	µg/m³	2	2	0,46	12
V	ng/m³	0,96	0,88	0,10	5
Zn	ng/m³	51	46	2	223

Così come il benzo(a)pirene, la cui presenza nel particolato è strettamente correlata a processi di combustione incompleta tipici della combustione di biomasse, anche il levoglucosano è considerato un valido indicatore della combustione di biomasse e risulta maggiormente presente durante la stagione fredda.

3.2.2.3 Sistema modellistico regionale

I modelli numerici di trasporto e dispersione degli inquinanti atmosferici sono strumenti fondamentali per valutare la qualità dell'aria. Questi modelli, a differenza dei metodi statistici, richiedono dati meteorologici (vento, turbolenza) e informazioni sulle emissioni degli inquinanti per simulare la loro concentrazione nello spazio e nel tempo. Sebbene inizialmente fossero considerati un'alternativa alle misure strumentali, oggi si integrano con queste ultime attraverso un processo chiamato assimilazione, che corregge gli errori nei dati di input usando le misure reali, migliorando così l'accuratezza delle stime.

La direttiva 2008/50/CE riconosce l'importanza dei modelli per ottenere una valutazione realistica della qualità dell'aria, combinando le capacità interpretative dei modelli euleriani fotochimici con la precisione delle misure di monitoraggio. Infine, per le misure indicative di PM_{10} con strumenti mobili, a causa della limitata copertura temporale, si utilizza un metodo statistico per ricostruire le serie temporali annuali basandosi sulle poche osservazioni e sulle misure fisse.
Il risultato dell'integrazione degli strumenti previsti dalla norma ha permesso di ottenere delle mappe di concentrazione dei diversi inquinanti più realistiche possibili (Figura 25, Figura 26, Figura 27).

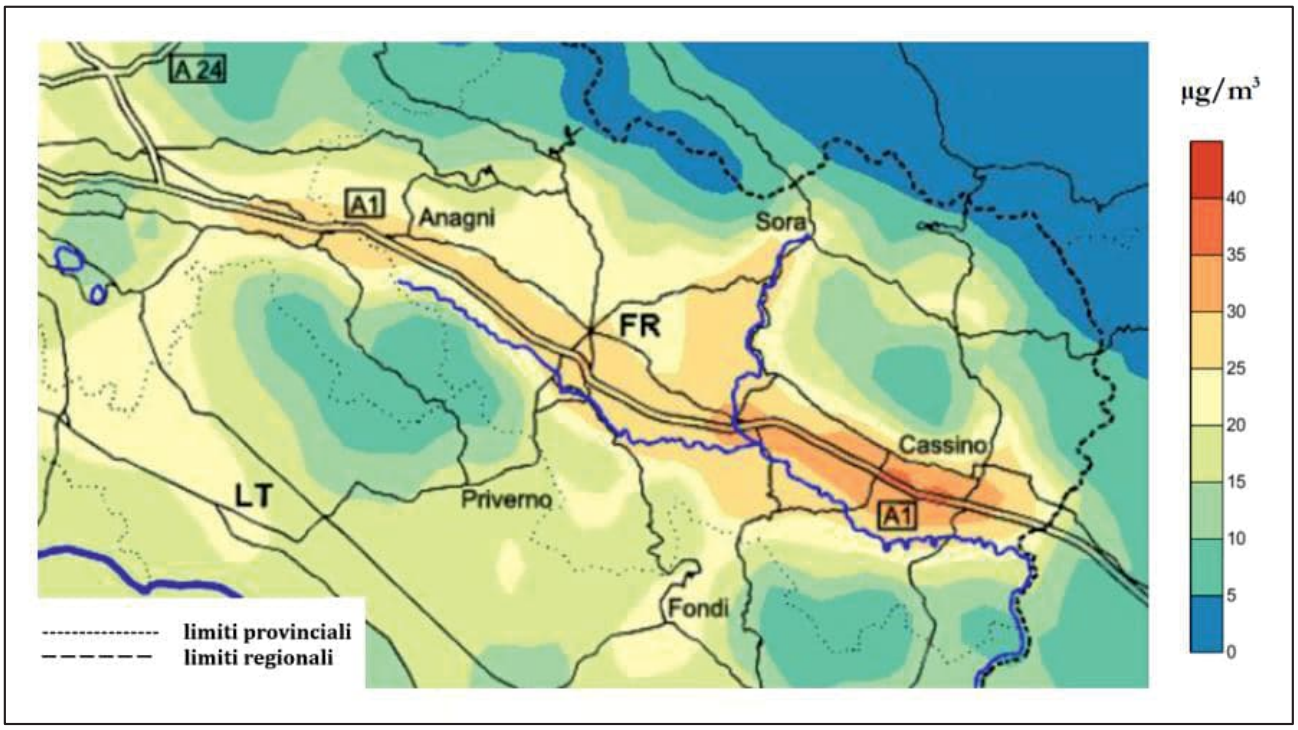


Figura 25. Distribuzione spaziale della media annua di PM_{10} nel 2024

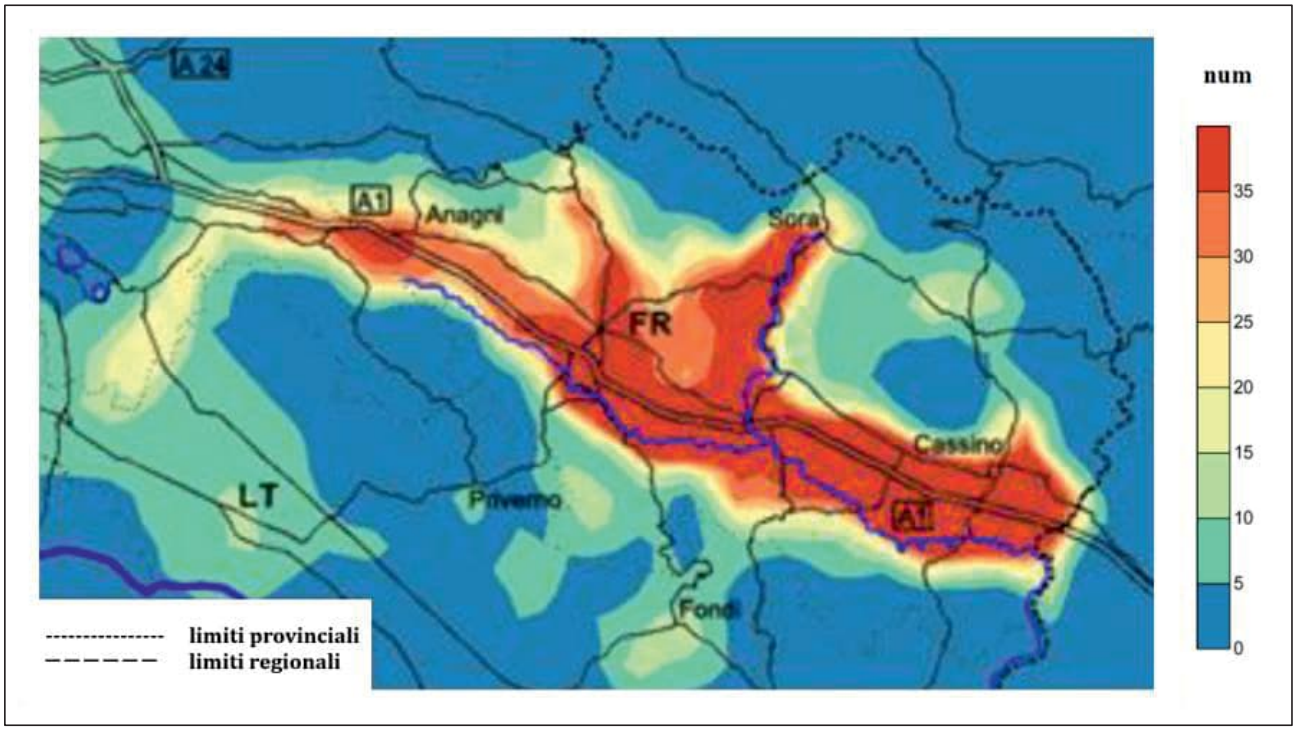


Figura 26. Distribuzione spaziale del numero di superamenti di 50 µg/m³ di PM_{10} nel 2024

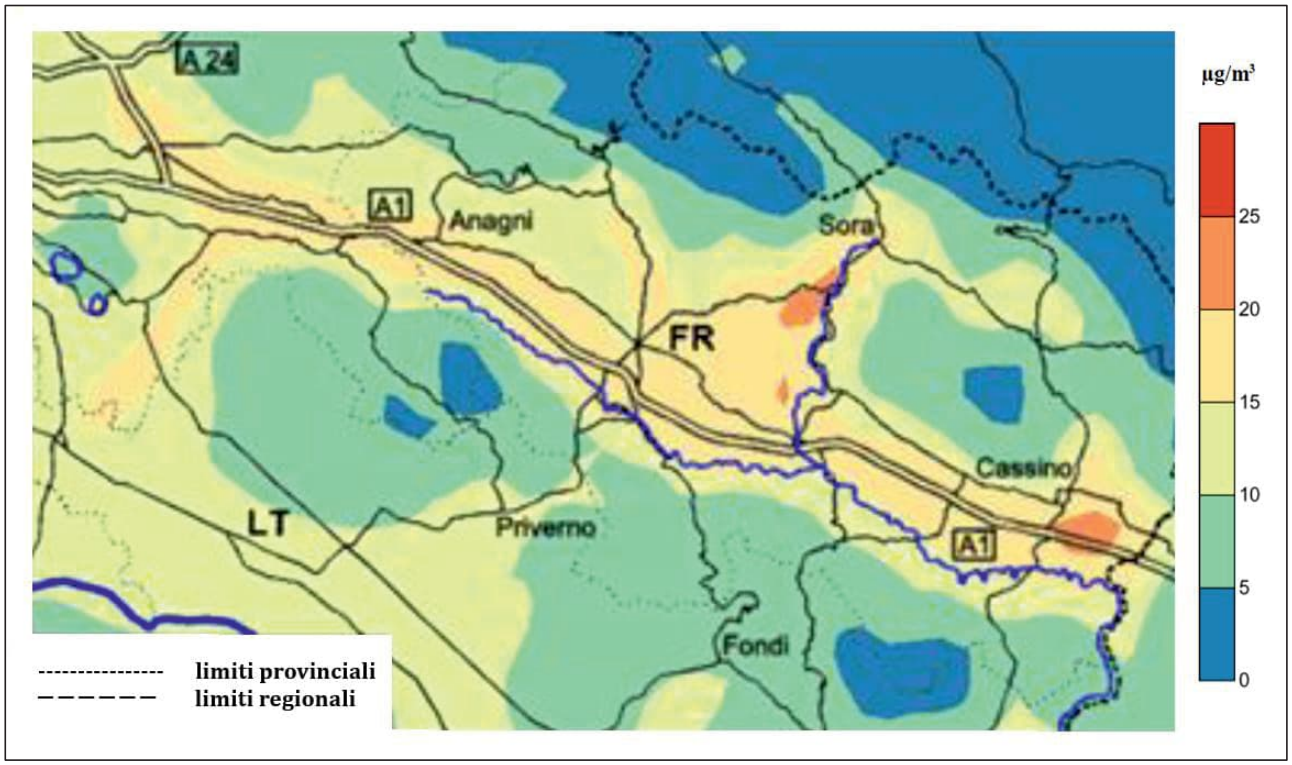


Figura 27. Distribuzione spaziale della media annua di $PM_{2.5}$ nel 2024

Dopo aver valutato la qualità dell'aria a livello regionale attraverso modelli di dispersione con risoluzione di 1 km², si procede a caratterizzare la qualità dell'aria per ciascun comune. Poiché la superficie comunale è generalmente più estesa della cella di risoluzione del modello, ogni comune è suddiviso in più celle, ciascuna con un valore di concentrazione degli inquinanti.

Per rappresentare lo stato di qualità dell'aria del comune, si sono considerate due opzioni: la media pesata delle concentrazioni delle celle o il valore massimo tra le celle.

Si è scelto di adottare il valore massimo per applicare il principio di precauzione, considerando un comune in superamento se almeno 1 km² supera i limiti normativi.

In caso di discrepanze tra dati modellistici e misure di rete fissa, si utilizza il valore peggiore per la valutazione. Inoltre, vengono riportati anche i valori minimi e medi per ogni comune, utili per capire se i superamenti riguardano piccole aree o l'intero territorio comunale. Questo approccio garantisce una valutazione prudente e dettagliata della qualità dell'aria a livello comunale.

Nella Tabella 22 vengono riportate le caratterizzazioni in base alla valutazione dello stato della qualità dell'aria del 2024, per ogni comune della zona "Valle del Sacco".

Tabella 22. Caratterizzazione della qualità dell'aria dei comuni della Valle del Sacco

IT1217 ZONA VALLE DEL SACCO													
Provincia	Cod. ISTAT	Nome	Area (km^2)	PM_{10}		$PM_{2.5}$	NO_2		C_6H_6	CO	SO_2	$**O_3$
				media	superamenti	media	media	superamenti	media	superamenti	superamenti	superamenti
FR	12060002	Acuto	13,4	18	5	11	10	0	0	0	0	1
FR	12060003	Alatri	97,2	27	52	18	29	0	1	0	0	1
FR	12060005	Amaseno	77,2	23	24	12	8	0	0	0	0	0
FR	12060006	Anagni	113,8	32	48	19	32	0	2	0	0	2
FR	12060007	Aquino	19,2	40	90	20	25	0	0	0	0	1
FR	12060008	Arce	39,5	34	62	20	21	0	0	0	0	2
FR	12060009	Arnara	12,3	31	59	18	26	0	1	0	0	0
FR	12060010	Arpino	56	28	46	19	9	0	0	0	0	9
FR	12060012	Ausonia	20,1	14	1	10	7	0	0	0	0	0
FR	12060014	Boville Ernica	28,2	28	43	20	11	0	0	0	0	1
FR	12060015	Broccostella	12	22	21	16	8	0	0	0	0	11
RM	12058020	Carpineto Romano	86,4	12	0	8	7	0	0	0	0	1
FR	12060018	Casalvieri	27,2	23	24	14	5	0	0	0	0	5
FR	12060019	Cassino	82,8	37	76	23	33	0	0	0	0	3
FR	12060020	Castelliri	15,5	31	59	22	11	0	0	0	0	2
FR	12060021	Castelnuovo Parano	10	16	5	10	7	0	0	0	0	0
FR	12060023	Castro dei Volsci	58,3	30	61	18	15	0	1	0	0	0
FR	12060022	Castrocielo	27,9	38	82	20	24	0	0	0	0	1
RM	12058026	Cave	17,7	21	7	15	13	0	0	0	0	1
FR	12060024	Ceccano	60,5	32	69	19	26	0	1	0	0	0
FR	12060025	Ceprano	38	37	67	21	28	0	0	0	0	0
FR	12060026	Cervaro	39,2	29	61	21	20	0	0	0	0	1
FR	12060027	Colfelice	14,2	32	59	18	20	0	0	0	0	2
RM	12058034	Colleferro	27,6	32	42	19	27	0	0	0	0	2
FR	12060028	Collepardo	25	20	12	10	16	0	0	0	0	0
RM	12058035	Colonna	3,5	20	7	16	17	0	0	0	0	3

IT1217 ZONA VALLE DEL SACCO

Provincia	Cod. ISTAT	Nome	Area (km^2)	PM_{10}		$PM_{2.5}$	NO_2		C_6H_6	CO	SO_2	**O_3
				media	superamenti	media	media	superamenti	media	superamenti	superamenti	superamenti
FR	12060030	Coreno Ausonio	26	12	0	10	5	0	0	0	0	1
FR	12060031	Esperia	108,8	25	35	15	9	0	0	0	0	1
FR	12060032	Falvaterra	12,8	28	43	13	10	0	0	0	0	0
FR	12060033	Ferentino	80,6	28	39	19	24	0	1	0	0	1
FR	12060036	Fontana Liri	16	26	33	16	10	0	0	0	0	5
FR	12060037	Fontechiari	16,2	17	7	13	6	0	0	0	0	11
FR	12060038	Frosinone	47	34	67	21	27	0	1	0	0	1
FR	12060039	Fumone	14,8	23	17	14	17	0	0	0	0	1
RM	12058040	Gallicano nel Lazio	26	24	13	17	20	0	0	0	0	11
RM	12058041	Gavignano	14,9	28	45	17	16	0	0	0	0	2
RM	12058042	Genazzano	32,1	24	16	16	14	0	0	0	0	1
FR	12060041	Giuliano di Roma	34	21	12	11	12	0	1	0	0	0
RM	12058045	Gorga	26,4	13	3	8	5	0	0	0	0	1
FR	12060043	Isola del Liri	16,2	32	60	23	14	0	0	0	0	3
RM	12058049	Labico	11,8	24	11	18	23	0	0	0	0	1
RM	12058060	Monte Compatri	24,3	22	9	15	16	0	1	0	0	34
FR	12060044	Monte San Giovanni Campano	48,6	32	60	23	14	0	0	0	0	2
RM	12058062	Montelanico	35	21	20	13	8	0	0	0	0	2
FR	12060045	Morolo	26,5	26	37	19	15	0	1	0	0	1
RM	12058073	Olevano Romano	26,1	18	3	13	10	0	0	0	0	1
RM	12058074	Palestrina	47,1	22	10	17	21	0	0	0	0	3
FR	12060046	Paliano	70,1	33	45	18	25	0	0	0	0	2
FR	12060047	Pastena	42	29	40	10	6	0	0	0	0	0
FR	12060048	Patrica	27	28	47	17	21	0	2	0	0	1
FR	12060051	Pico	32,7	28	38	13	10	0	0	0	0	1
FR	12060052	Piedimonte San Germano	17,4	38	81	20	23	0	0	0	0	1
FR	12060053	Piglio	35,2	19	9	13	9	0	0	0	0	1

IT1217 ZONA VALLE DEL SACCO

Provincia	Cod. ISTAT	Nome	Area (km^2)	PM_{10}		$PM_{2.5}$	NO_2		C_6H_6	CO	SO_2	**O_3
				media	superamenti	media	media	superamenti	media	superamenti	superamenti	superamenti
FR	12060054	Pignataro Interamna	24,6	35	73	21	17	0	0	0	0	0
FR	12060055	Pofi	30,7	31	60	19	23	0	1	0	0	0
FR	12060056	Pontecorvo	88,2	33	65	18	25	0	0	0	0	1
FR	12060057	Posta Fibreno	9,1	18	11	14	5	0	0	0	0	8
FR	12060058	Ripi	31,4	27	38	19	21	0	1	0	0	0
FR	12060059	Rocca d'Arce	11,5	21	11	10	8	0	0	0	0	4
RM	12058088	Rocca Priora	28	17	5	14	13	0	0	0	0	2
FR	12060060	Roccasecca	43,3	35	72	20	23	0	0	0	0	2
FR	12060070	San Cesareo	27,1	22	35	18	16	0	0	0	0	0
RM	12058119	San Giorgio a Liri	22,7	23	9	18	23	0	0	0	0	10
FR	12060063	San Giovanni Incarico	15,5	25	41	15	10	0	0	0	0	0
FR	12060064	San Vittore del Lazio	24,9	31	59	18	14	0	0	0	0	1
FR	12060065	Sant'Ambrogio sul Garigliano	9	20	29	16	9	0	0	0	0	0
FR	12060066	Sant'Andrea del Garigliano	16,9	16	14	13	6	0	0	0	0	1
FR	12060067	Sant'Apollinare	17	24	48	18	10	0	0	0	0	0
FR	12060068	Sant'Elia Fiumerapido	41	25	30	18	16	0	0	0	0	4
FR	12060069	Santopadre	21,5	17	10	9	4	0	0	0	0	3
RM	12058102	Segni	61,3	30	49	18	21	0	0	0	0	2
FR	12060071	Serrone	15,4	16	2	11	7	0	0	0	0	1
FR	12060073	Sgurgola	19,3	24	32	16	15	0	1	0	0	1
FR	12060074	Sora	71,8	29	57	22	17	0	0	0	0	26
FR	12060075	Strangolagalli	10,5	30	53	21	12	0	0	0	0	1
FR	12060076	Supino	35,3	28	39	20	19	0	1	0	0	1
FR	12060079	Torrice	18,2	27	49	17	17	0	1	0	0	1
FR	12060082	Vallecorsa	39,7	22	7	9	5	0	0	0	0	0
FR	12060083	Vallemaio	19,5	14	3	9	5	0	0	0	0	1
RM	12058110	Valmontone	40,7	30	38	20	29	0	0	0	0	1

IT1217 ZONA VALLE DEL SACCO												
Provincia	Cod. ISTAT	Nome	Area (km^2)	PM_{10}		$PM_{2.5}$	NO_2		C_6H_6	CO	SO_2	$^{**}O_3$
				media	superamenti	media	media	superamenti	media	superamenti	superamenti	superamenti
FR	12060085	Veroli	120,3	27	42	19	16	0	1	0	0	1
FR	12060086	Vicalvi	8,2	16	8	12	5	0	0	0	0	4
FR	12060087	Vico nel Lazio	45,8	25	33	16	19	0	0	0	0	1
FR	12060089	Villa Santa Lucia	18,2	38	82	21	23	0	0	0	0	1
FR	12060090	Villa Santo Stefano	20,3	21	16	11	10	0	1	0	0	0
RM	12058114	Zagarolo	29	25	15	18	20	0	0	0	0	19

Note: (**) – calcolato come media su 3 anni (2022-2024)

3.2.3 Criticità ambientali

3.2.3.1 La complessità orografica

Le condizioni critiche di qualità dell'aria, che da tempo si manifestano nella zona Valle del Sacco, sono presumibilmente attribuibili al contesto ambientale e, nello specifico, alle caratteristiche geomorfologiche, meteorologiche e climatiche della zona, nonché alla varietà di sorgenti emissive che insistono sull'area in esame. Come già descritto nei paragrafi precedenti, la Valle del Sacco ricade nell'ampia depressione tettonica della Valle latina, delimitata a sud/est dall'esteso fronte di scorrimento dei Monti Lepini (appartenenti alla fascia del pre-Appennino centrale) e a nord/ovest dalla struttura di Macchia di Anagni (Monte Trave) e Monti Simbruini-Ernici (Figura 28).

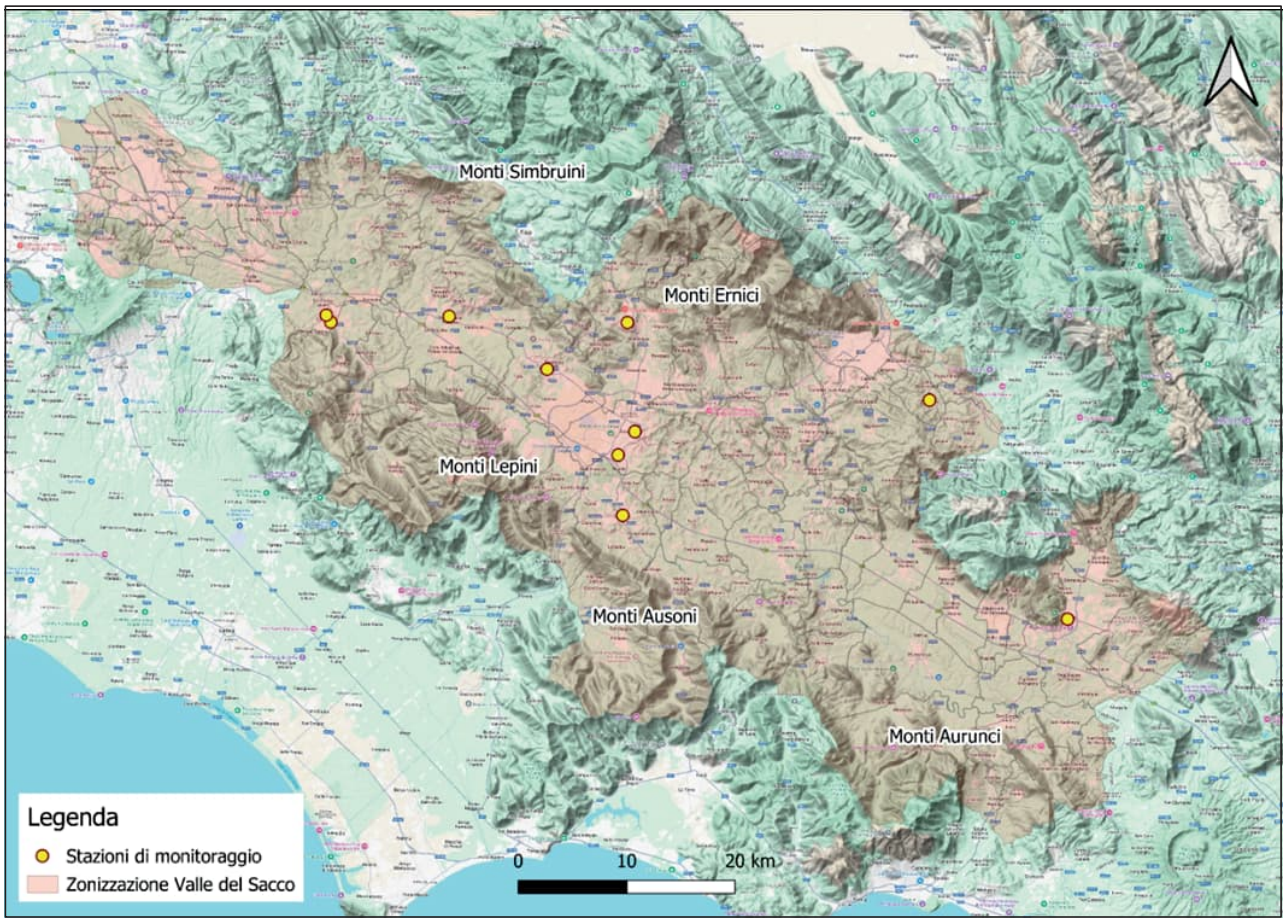


Figura 28. Caratteristiche orografiche della zona Valle del Sacco

Le caratteristiche orografiche e meteo-climatiche peculiari della zona risultano decisamente sfavorevoli ai fenomeni di dispersione degli inquinanti, impedendo di conseguenza la diluizione delle concentrazioni presenti. Vanno aggiunti i numerosi e persistenti eventi di elevata stabilità atmosferica, associati a venti deboli e/o assenti che caratterizzano la stagione invernale: l'insieme di tutti questi fattori non può che avere come inevitabile esito la presenza di materiale particolato aerodisperso in concentrazioni elevate in aria ambiente.

A supporto di quanto affermato, si riportano i risultati di uno studio condotto dall'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC/CNR) di Roma, relativo all'altezza dello strato di rimescolamento nella Valle del Sacco. In particolare si è analizzato il *coefficiente di ventilazione (VC)*, determinato dall'altezza dello strato limite planetario (PBL) e dalla velocità del vento.

Il VC, definito per il periodo i come il prodotto tra l'altezza dello strato limite planetario e la velocità media del vento, viene espresso in m^2/s. La formula utilizzata risulta essere la seguente:

$$Vc_i = MLHi \times \bar{U}_i$$

La stima di tale parametro consente di confrontare le condizioni di stabilità atmosferica specifiche e, di conseguenza, l'efficienza della dispersione all'interno del PBL.

"*Contributo alla caratterizzazione meteorologica della valle latina mediante impiego di strumentazione di telerilevamento attivo*", Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC/CNR), Roma, 2018

I dati sulla velocità e direzione del vento sono stati ottenuti dalla stazione di misurazione micrometeorologica dell'ARPA Lazio sita in Frosinone. In particolare si è fatto riferimento ai dati dei periodi giugno-agosto e dicembre-febbraio dell'anno 2015 al fine di considerare il più ampio ventaglio di condizioni meteorologiche che influenzano il PBL. L'altezza dello strato limite è stata calcolata come la media tra il periodo estivo e il periodo invernale.

Il *coefficiente di ventilazione (VC)* così determinato, è risultato essere pari a 852 m^2/s. Per avere un termine di paragone, il *CV* calcolato con le medesime modalità per l'area di Roma è pari a 1292 m^2/s. Questa differenza così marcata tra i due *CV* evidenzia una capacità di dispersione degli inquinanti significativamente inferiore nella Valle del Sacco rispetto a quella che caratterizza l'area di Roma.
È di tutta evidenza come le diverse dinamiche di dispersione, influenzate dalle caratteristiche orografiche e dalle specifiche fonti di emissione, determinino variazioni, anche significative, nelle concentrazioni degli inquinanti (in particolar modo PM_{10}) misurate dalle centraline.

3.2.3.2 I fattori di pressione

L'inquinamento atmosferico dipende in modo complesso da una serie di fattori: l'intensità e la densità delle emissioni, su scala locale e regionale, lo stato fisico e la reattività delle sostanze disperse in atmosfera, la velocità di formazione e trasformazione delle sostanze, i meccanismi di diluizione o di accumulo degli inquinanti, le condizioni meteorologiche e l'orografia del territorio che influenzano il movimento delle masse d'aria, il trasporto a lunga distanza e la deposizione.

Le emissioni provenienti dallo scarico dei veicoli rilasciano direttamente in atmosfera particelle carboniose come residuo della combustione. Gli ossidi di azoto, gli ossidi di zolfo, i composti organici volatili e l'ammoniaca emessi allo scarico sono precursori del cosiddetto particolato secondario. Da questi, infatti, si formano in atmosfera, attraverso una serie di reazioni chimiche, particelle che costituiscono altre tre macrocomponenti del materiale particolato (il carbonio organico, i nitrati e i solfati d'ammonio) che contribuiscono alle concentrazioni osservate di PM_{10} e $PM_{2,5}$. Il contributo del traffico veicolare nell'area di studio alla concentrazione di massa del PM_{10} è piuttosto omogeneo e particolarmente evidente nei mesi più freddi, a causa della maggiore stabilità atmosferica in inverno che porta all'accumulo nell'atmosfera degli inquinanti emessi dai veicoli.

Qualsiasi altro tipo di combustione che abbia origine dall'uso di combustibili fossili, così come la combustione della biomassa legnosa, rilascia in atmosfera le stesse sostanze che vanno a formare le medesime macrocomponenti. A tal proposito è stato riscontrato che, durante l'inverno, il riscaldamento domestico a biomassa è la principale sorgente di PM_{10}, contribuendo a circa il 40% della concentrazione totale di particolato rilevata nell'area di studio. Le attività agricole e zootecniche possono anch'esse contribuire alla produzione di particolato. In particolare, poiché oltre il 90% delle emissioni di ammoniaca sono attribuibili a tali attività, esse sono la principale causa della formazione di particelle di nitrato di ammonio.

Di origine naturale sono l'aerosol marino e le particelle originate dal trasporto a lunga distanza di sabbie desertiche. Durante i periodi più caldi, la polvere del suolo contribuisce in maniera significativa alla massa totale di PM_{10}; la componente terrigena generata dal risollevamento dal suolo infatti ha, in parte, origine naturale ma in parte può riportare in dispersione particelle emesse originariamente dai veicoli in seguito a fenomeni di attrito, o prodotte da attività di costruzione, cantieristiche o rilasciate da attività di estrazione.

La criticità dell'area, e in particolare nella zona di fondo valle, è determinata sostanzialmente dalla presenza di sorgenti di emissioni pertinenti agli impianti di riscaldamento degli edifici, in particolare derivanti dalla combustione di biomassa o combustibili solidi e/o liquidi in impianti a bassa efficienza, che si aggiungono alle emissioni generate da altre sorgenti (trasporto, industria, agricoltura, ...).

3.3 SUOLO

3.3.1 Sito d'interesse nazionale Bacino del Fiume Sacco

L'iter amministrativo di riperimetrazione si è concluso con il d.m. n. 321 del 22 novembre 2016, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale Serie Generale n. 293 del 16 dicembre 2016, che ha approvato il perimetro definitivo del SIN. Nel perimetro (Figura 29) sono compresi i territori (o parte degli stessi) dei seguenti 19 comuni: Artena, Colleferro, Segni e Gavignano, nella provincia di Roma, e Anagni, Arce, Castro dei Volsci, Ceccano, Ceprano, Falvaterra, Ferentino, Frosinone, Morolo, Paliano, Pastena, Patrica, Pofi, Sgurgola e Supino, nella provincia di Frosinone. Sono esclusi dalla perimetrazione i punti vendita carburante e i siti di discarica (ad eccezione del sito denominato «ex-discarica Le Lame»).

Il SIN è oggetto di monitoraggio continuo per valutare l'efficacia degli interventi e l'evoluzione della qualità ambientale, con particolare attenzione agli effetti sulla salute della popolazione residente.

La complessità del sito, dovuta alla vasta estensione e alla molteplicità delle fonti di contaminazione, richiede un approccio integrato e coordinato tra istituzioni, enti tecnici e comunità locali.



Figura 29. Perimetrazione SIN Bacino del Fiume Sacco

3.3.2 Il monitoraggio dei siti contaminati

Ai sensi dell'art. 197, co.1, lett. a, del d.lgs. 152/06, in attuazione dell'art. 19 del d.lgs.. 267/00, le attività di controllo nell'ambito dei procedimenti che riguardano i siti contaminati sono di competenza della Provincia o della Città metropolitana.

Il supporto tecnico e la collaborazione dell'ARPA, prevista dagli articoli 242, 248, co. 1 e co. 2, vengono regolati ai sensi del co. 2 dell'art. 197, attraverso la sottoscrizione di specifici accordi in convenzione.

Le convenzioni tra l'ARPA e le Province previste dall'art. 197 del d.lgs.. 152/06 possono avere ad oggetto esclusivamente attività di dettaglio tecnico e sono volte a consentire all'Amministrazione provinciale l'adempimento delle proprie competenze.

In tale contesto, l'ARPA Lazio può svolgere sia attività istruttorie, attraverso la disamina tecnica di dati e informazioni ambientali nonché di elaborati progettuali, sia attività di campo, attraverso la realizzazione di sopralluoghi e riscontri diretti (campionamento e analisi).

In particolare, con riferimento a quanto previsto alla parte quarta del titolo V del d.lgs. 152/06, le attività di controllo, sia nell'ambito della procedura ordinaria di bonifica che di quelle semplificate, in generale includono:

- controlli su quanto dichiarato dai soggetti obbligati nelle autocertificazioni di cui al punto 3.4 delle Linee guida regionali;

- controlli sull'efficacia delle misure di prevenzione e messa in sicurezza d'emergenza adottate; controlli in fase di caratterizzazione, finalizzati a verificare le modalità di svolgimento delle indagini da parte del soggetto obbligato e la loro rispondenza agli elaborati progettuali approvati dagli enti competenti nonché a validare gli esiti delle indagini svolte dal soggetto obbligato mediante campionamento in contraddittorio e analisi dei campioni raccolti da parte dei laboratori dell'ARPA;

- controlli in fase di bonifica, finalizzati alla verifica dell'efficacia degli interventi attuati e all'accertamento della loro rispondenza al progetto approvato, nonché sul rispetto dei tempi di esecuzione degli interventi;

- controlli in fase di monitoraggio, in particolare durante o dopo l'elaborazione dell'analisi di rischio sito-specifica nonché in seguito agli interventi di bonifica/MISO/MISP;

- controlli durante le operazioni di collaudo in relazione al progetto approvato, finalizzati a verificare l'avvenuto ripristino dell'area alle condizioni antecedenti l'evento di contaminazione e il raggiungimento degli obiettivi di bonifica progettuali.

3.3.2.1 Procedimenti di bonifica nella regione Lazio

Nell'ambito delle attività svolte dall'Agenzia nelle diverse fasi dei procedimenti amministrativi di bonifica (istruttoria, controllo e supporto alle autorità competenti), nell'anno 2012 è stato condotto un primo censimento, poi aggiornato annualmente, dei siti interessati da procedimenti ricompresi nella disciplina della parte IV, titolo V del d.lgs. n. 152/06 e ss.mm.ii. e del d.m. n. 31/2015 "Regolamento recante criteri semplificati per la caratterizzazione, messa in sicurezza e bonifica dei punti vendita carburanti, ai sensi dell'articolo 252, comma 4, del d.lgs. n. 152/06", vale a dire tutti quelli per i quali sono state effettuate notifiche ai sensi dell'art. 242 – comma 1, 242 bis – comma 1, 244 – comma 1, 245 nonché quelli individuati ai sensi dell'art. 252.

Nell'anno 2024, nella regione Lazio circa il 50% dei siti oggetto di procedimento di bonifica risulta localizzato nella provincia di Roma, seguita dalla provincia di Frosinone con circa il 23%.

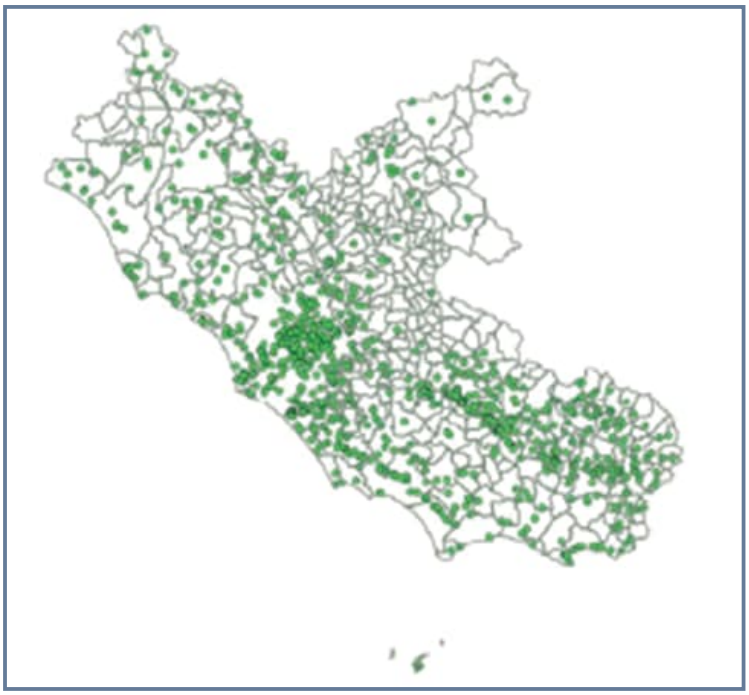


Figura 30. Procedimenti di bonifica in corso



Figura 31. Procedimenti di bonifica conclusi

3.3.2.2 Procedimenti di bonifica nella provincia di Frosinone

Per quanto concerne il territorio provinciale di Frosinone sulla base delle informazioni estratte dagli archivi dell'Agenzia e relative all'anno 2024, è stato possibile individuare complessivamente 348 procedimenti amministrativi di bonifica attivi e 69 procedimenti conclusi (Figura 30, Figura 31).

Così come previsto dalla norma, l'avvio di ogni procedimento è subordinato al rinvenimento nella matrice suolo/sottosuolo e/o nella matrice acqua di falda di elementi chimici in concentrazioni non conformi rispetto ai limiti di legge elencati:

- nella tabella 1 colonna A "Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale" o B "Siti ad uso commerciale e industriale" di cui all'allegato 5 alla parte IV – titolo V del d.lgs. 152/06 e ss.mm.ii.;

- nella tabella 2 "Concentrazioni soglia di contaminazione nelle acque sotterranee" di cui all'allegato 5 alla parte IV – titolo V del d.lgs. 152/06 e ss.mm.ii.;

Ciascuna delle due tabelle (di cui si riporta lo stralcio dei valori limite per le sostanze oggetto del Report) (Tabella 23 e Tabella 24) conta in elenco poco meno di 100 analiti; ne consegue che non esiste una fonte di pressione univoca per tutti i procedimenti di bonifica ad oggi attivi in provincia di Frosinone. In linea generale la contaminazione può dipendere:

- dalla tipologia dell'evento specifico, sia esso accidentale (sversamenti di sostanze a seguito di incidenti, ribaltamenti, rotture ecc.) che doloso (abbandoni, depositi incontrollati di rifiuti, smaltimenti illeciti);

- dalla vocazione delle attività condotte presso i siti (siti industriali attivi o dismessi, discariche o ex discariche, esercizi connessi con lo stoccaggio o la distribuzione di sostanze idrocarburiche);

- dal contesto territoriale all'interno del quale risultano collocati i siti.

Le sostanze chimiche che, al momento, possono essere considerate maggiormente impattanti per il territorio in provincia di Frosinone sono essenzialmente ricollegabili ai prodotti di natura idrocarburica, ai solventi (alifatici clorurati e alogenati) e ai composti inorganici (metalli e metalloidi).

Tabella 23. Stralcio di tabella 1, colonne A e B - allegato 5 alla parte IV del d.lgs. 152/06 in cui si riportano le sostanze chimiche maggiormente impattanti per il territorio in provincia di Frosinone

PARAMETRO	Unità di misura	CSC Tab. 1 col. A allegato 5 alla parte IV del d.lgs. 152/06	CSC Tab. 1 col. B allegato 5 alla parte IV del d.lgs. 152/06
METALLI			
Arsenico	mg/kg	20	50
Berillio	mg/kg	2	10
Vanadio	mg/kg	90	250
Tallio	mg/kg	1	10
Cobalto	mg/kg	20	250
Selenio	mg/kg	3	15
Piombo	mg/kg	100	1000

Tabella 24. Stralcio di tabella 2 - allegato 5 alla parte IV del d.lgs. 152/06 in cui si riportano le sostanze chimiche maggiormente impattanti per il territorio in provincia di Frosinone

PARAMETRO	Unità di misura	CSC – Tab. 2 allegato 5 alla parte IV del d.lgs. 152/06
METALLI		
Arsenico	µg/l	10
Ferro	µg/l	200
Manganese	µg/l	50
Alluminio	µg/l	200
INQUINANTI INORGANICI		
Fluoruri	µg/l	1500
ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI		
Clorometano	µg/l	1.5
Triclorometano	µg/l	0.15
Cloruro di Vinile	µg/l	0.5
1,2-Dicloroetano	µg/l	3
1,1-Dicloroetilene	µg/l	0.05
Tricloroetilene	µg/l	1.5
Tetracloroetilene	µg/l	1.1
Esaclorobutadiene	µg/l	0.15
Sommatoria organoalogenati	µg/l	10

PARAMETRO	Unità di misura	CSC – Tab. 2 allegato 5 alla parte IV del d.lgs. 152/06
ALIFATICI CLORURATI NON CANCEROGENI		
1,1-Dicloroetano	µg/l	810
1,2-Dicloroetilene	µg/l	60
1,2-Dicloropropano	µg/l	0.15
1,1,2-Tricloroetano	µg/l	0.2
1,2,3-Tricloropropano	µg/l	0.001
1,1,2,2,-Tetracloroetano	µg/l	0.05
ALIFATICI ALOGENATI CANCEROGENI		
Tribromometano	µg/l	0.3
1,2-Dibromoetano	µg/l	0.001
Dibromoclorometano	µg/l	0.13
Bromodiclorometano	µg/l	0.17

3.3.2.3 Procedimenti di bonifica avviati all'interno del SIN "Bacino del Fiume Sacco"

Circa 1/3 dei procedimenti amministrativi di bonifica avviati in provincia di Frosinone risulta collocato all'interno del perimento del SIN Bacino del Fiume Sacco, nello specifico al 31 dicembre 2024 si contano 121 procedimenti attivi e 41 conclusi (Figura 32).

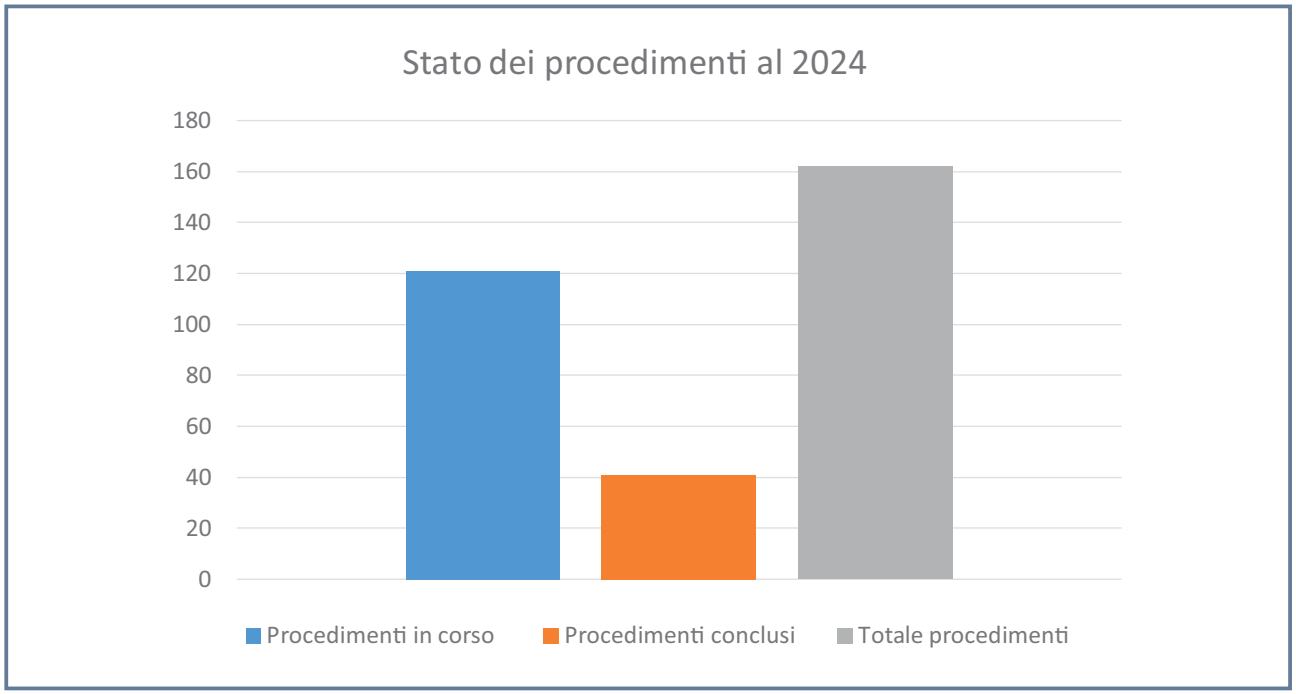


Figura 32. Stato dei procedimenti a fine 2024

I citati procedimenti risultano distribuiti nei territori dei 19 comuni interessati dalla perimetrazione, e si concentrano maggiormente nei comuni di Anagni, Frosinone, Patrica, Ferentino e Ceprano. (Figura 33).

Una parte di questi procedimenti risulta a carico di grandi siti industriali attivi o dismessi, da cui è possibile individuare un "soggetto responsabile" della potenziale contaminazione e per i quali risultano correttamente avviate le opportune azioni tecniche e amministrative volte al risanamento delle aree. Le sostanze contaminati di questi siti hanno un carattere antropico predominate (idrocarburi, alifatici clorurati e alogenati ecc.) e risultano tutte associabili ad un evento che ne ha comportato la diffusione. Tutti questi siti sono incardinati in procedimenti amministrativi strutturati, che si sviluppano nelle diverse fasi di approfondimento dettagliate dalla parte IV – titolo V del d.lgs. 152/06, nello specifico: caratterizzazione, analisi di rischio, bonifica o messa in sicurezza operativa o permanente.

L'altra parte dei procedimenti in area SIN risulta avviata da soggetti "non responsabili" della potenziale contaminazione che, durante lo svolgimento di attività di indagine ai sensi degli art. 242-ter o 252 comma 4 bis del d.lgs. 152/06 e ss.mm.ii., si sono imbattuti nella presenza anomala di determinati elementi chimici inorganici (metalli e metalloidi) non correlabili con le attività realmente effettuate. Per questi siti, un contributo molto interessante è stato fornito dalle grandi aree agricole abbandonate ubicate all'interno del perimetro del SIN Bacino del Fiume Sacco e oggetto di indagine preliminare per una loro successiva riconversione, aree nelle quali sono state riscontrate frequenti anomalie rispetto ai limiti di legge per diversi parametri, nello specifico:

- nei suoli è risultata una frequente presenza di arsenico, berillio, vanadio, tallio, cobalto, selenio, piombo ecc;
- nelle acque di falda è risultata una frequente presenza di arsenico, ferro, manganese, alluminio, fluoruri ecc.

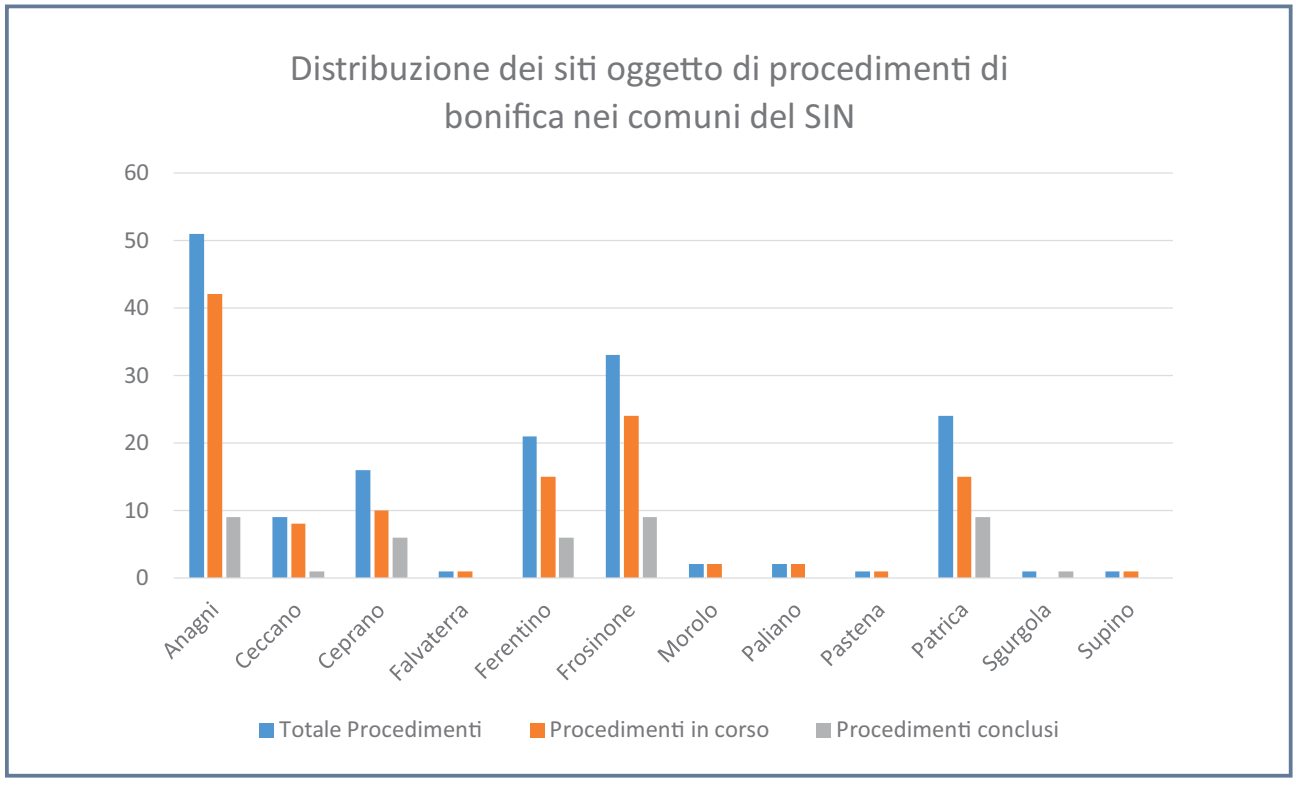


Figura 33. Distribuzione dei procedimenti di bonifica nei vari comuni del SIN

L'individuazione di elementi chimici in concentrazione anomala sia nei suoli che nelle acque sotterranee relativamente a siti che non hanno mai ospitato alcuna attività di natura antropica, in aggiunta alle riforme normative che hanno aperto alla possibilità di attribuire a cause naturali la presenza di determinati parametri, ha sostanzialmente cambiato l'approccio tecnico e amministrativo adottato per la gestione di questa fattispecie di procedimenti, facendo prevalere un giusto percorso di semplificazione volto all'attribuzione delle citate eccedenze a valori di fondo naturale (VFN), ovvero a renderle compatibili con il contesto territoriale all'interno del quale risultano collocati i siti.

3.3.3 Criticità ambientali

3.3.3.1 Matrice suolo:

Come anticipato nel paragrafo precedente, nei campioni di suolo prelevati all'interno del SIN Bacino del Fiume Sacco, si riscontrano, oltre ai già noti superamenti rispetto ai limiti tabellari di elementi chimici di chiara origine antropica (alifatici clorurati e alogenati, sostanze di natura idrocarburica) localizzati in aree dove è individuabile un soggetto responsabile della potenziale contaminazione, anche frequenti superamenti rispetto ai limiti di legge di elementi chimici appartenenti alla famiglia dei composti inorganici (metalli e metalloidi), la cui presenza, nella maggior parte dei casi, risulta del tutto sconnessa con le attività svolte presso i siti.

Nel primo caso, tali anomalie vengono rinvenute in siti industriali attivi o dismessi, che hanno utilizzato nel proprio ciclo produttivo le sostanze chimiche rilevate in concentrazioni non conformi, da cui dunque risulta possibile riconoscere una precisa specie chimica contaminante, una via di migrazione attraverso la quale la stessa specie chimica è in grado di diffondersi e un bersaglio, rappresentato dal soggetto recettore che potrebbe essere potenzialmente danneggiato dalla sostanza contaminante.

Nel secondo caso, le anomalie rilevate per i composti inorganici (metalli e metalloidi), sono state riscontrate sia nel suolo superficiale che nel suolo profondo, sia in aree a vocazione prettamente agricola che in aree a certificata destinazione industriale, sia in aree poste all'interno del perimetro del SIN Bacino del fiume Sacco che all'esterno.

Dunque, atteso che la contaminazione cagionata dall'apporto antropico può avere un contorno delineato e tecnicamente definito in ragione della specificità delle sostanze contaminanti, la contaminazione dovuta alla diffusa presenza di metalli e metalloidi merita un giusto approfondimento.
In sintesi, i superamenti di metalli pesanti nei suoli del SIN Bacino del Fiume Sacco che riguardano principalmente *arsenico, berillio, tallio, vanadio, piombo, cobalto, selenio*, sembrerebbero derivare dalle caratteristiche geologiche dei terreni dell'area SIN.

Nella Figura 34 e nella Figura 35 si può notare la distribuzione dei campioni di suolo in cui sono state riscontrate criticità per i metalli pesanti; nella prima immagine si focalizza l'attenzione sulle aree industrializzate, nella seconda sulle aree non industrializzate.



Figura 34. Distribuzione dei campioni di suolo con superamenti di metalli pesanti in aree industrializzate

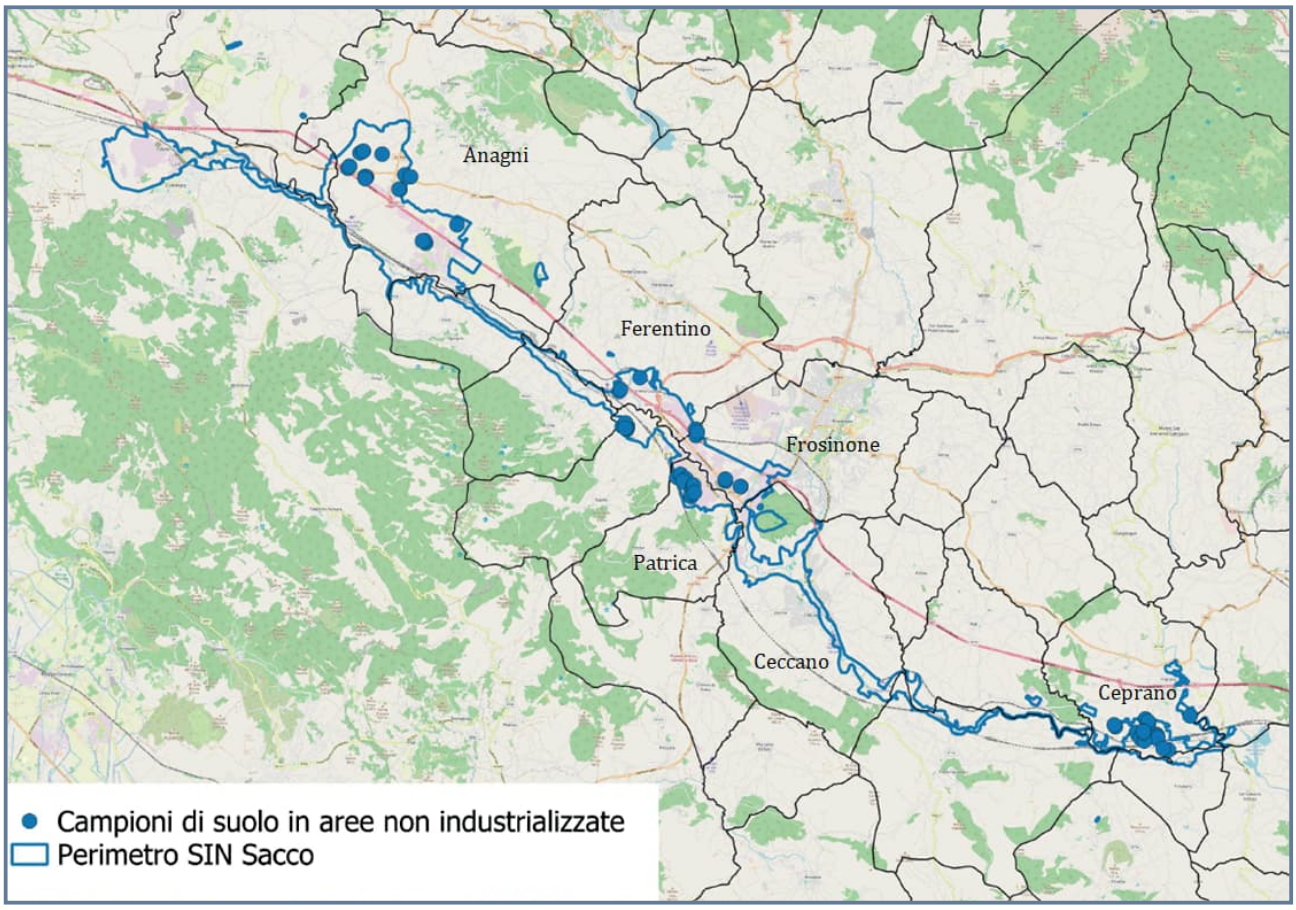


Figura 35. Distribuzione dei campioni di suolo con superamenti di metalli pesanti in aree non industrializzate

3.3.3.2 Matrice acque sotterranee

Per quanto attiene alla matrice acqua sotterranea, rispetto a quanto osservato per i suoli, si configura uno scenario caratterizzato dalla presenza in falda di diversi elementi inorganici (metalli e metalloidi) e, in misura meno frequente, ma comunque da non sottovalutare, anche di elementi chimici appartenenti alla famiglia dei solventi clorurati.

La presenza di metalli e metalloidi, nelle acque di falda soggiacenti il SIN Bacino del Fiume Sacco, mostra un andamento grossomodo compatibile con il contesto geologico e idrogeologico all'interno del quale si collocano i siti indagati. Al riguardo, le informazioni in possesso di questa Agenzia, ottenute nell'ambito dello svolgimento delle indagini ambientali che i soggetti privati effettuano in ossequio alle disposizioni stabilite dagli art. 242-ter o 252 comma 4 bis del d.lgs. 152/06 e ss.mm.ii., evidenziano una presenza più o meno ubiquitaria di arsenico, ferro, manganese, alluminio, solfati, la cui concentrazione in diverse circostanze è risultata superiore rispetto ai limiti fissati dalla tabella 2 allegato 5 alla parte IV – titolo V del d.lgs. 152/06 e ss.mm.ii.. Le concentrazioni misurate oscillano tra valori prossimi ai valori limite (CSC) fino ad arrivare ad eccedere anche di un ordine di grandezza rispetto alle CSC tabellari. Tali oscillazioni dipendono dalla natura geologica dell'acquifero, dalle condizioni alcaline (ossidanti o riducenti), dalla presenza o no di sostanza organica.

Per quanto concerne la presenza di elementi chimici afferenti alla famiglia dei solventi clorurati, riscontrati in falda anche in concentrazioni eccedenti i limiti di legge fissati dalla sopracitata tabella 2, risulta pregiudiziale evidenziare la loro natura antropica e, pertanto, la loro diffusione non risulta associabile al contesto territoriale all'interno del quale sono collocati i diversi siti.

Tali composti necessitano di particolare attenzione in ragione della loro pericolosità verso i recettori esposti (bersagli). La loro scarsa biodegradabilità, associata ad una elevata mobilità, può comportare in molti casi fenomeni di contaminazione diffusa, soprattutto all'accadimento di eventi storici, che non consentono l'individuazione di sorgenti puntuali di contaminazione.

I *solventi clorurati* rappresentano un sottogruppo dei *composti organoalogenati* nel quale uno o più atomi di cloro costituiscono l'elemento alogeno. Per *composti organoalogenati* si intendono essenzialmente due categorie di sostanze: gli *alometani* e gli *idrocarburi alogenati* di sintesi volatili, entrambi composti che contengono uno o più atomi di alogeno legati covalentemente alla struttura di carbonio della molecola.

I solventi clorurati rappresentano una delle principali forme di inquinamento delle acque sotterranee a causa della loro grandissima diffusione in quanto largamente utilizzati come sgrassanti di parti meccaniche ed elettroniche, per la pulizia dei metalli e dei vestiti (lavanderie) oppure come solventi e materie prime nell'industria chimico-farmaceutica (farmaci, vernici, coprenti e adesivi). Si tratta di composti poco solubili in acqua, persistenti, tossici e in alcuni casi cancerogeni e mutageni. Le più gravi fonti di inquinamento sono sicuramente i pozzi perdenti, che inseriscono direttamente in falda i contaminanti; un'altra fonte pericolosa sono le cisterne interrate a cattiva tenuta che, anche se non presentano enormi perdite, a causa dell'elevata persistenza e scarsa degradazione dei solventi clorurati, possono dar luogo nel tempo ad accumuli di prodotto, creando gravissime criticità sotto il profilo ambientale.

La migrazione dei solventi clorurati nel sottosuolo avviene secondo un meccanismo molto particolare, in quanto la loro scarsa solubilità e la loro viscosità cinematica e densità (rispettivamente più bassa e più alta di quella dell'acqua), favoriscono un rapido movimento di discesa nel mezzo insaturo e saturo. Infatti, mentre nelle acque superficiali la presenza dei solventi, per l'elevata volatilità di alcuni di questi composti, è ridotta, nel sottosuolo la loro presenza è molto più consistente, in quanto riescono a raggiungere agevolmente la falda attraversando velocemente il terreno insaturo (anche in presenza di livelli litologici più fini), fino ad accumularsi nelle zone più depresse dell'acquifero caratterizzate da livelli di minore permeabilità. I prodotti più solubili, contraddistinti da una densità leggermente superiore rispetto a quella dell'acqua, riescono invece a scendere più lentamente e possono migrare secondo la direzione di deflusso della falda fino ad interessare superfici di qualche km^2.

In Figura 36 si può osservare la distribuzione dei superamenti dei limiti di legge per i parametri clorurati all'interno del SIN, con evidenza di una più alta concentrazione nelle aree ricadenti nei territori dei comuni di Anagni, Ferentino, Frosinone e Patrica.

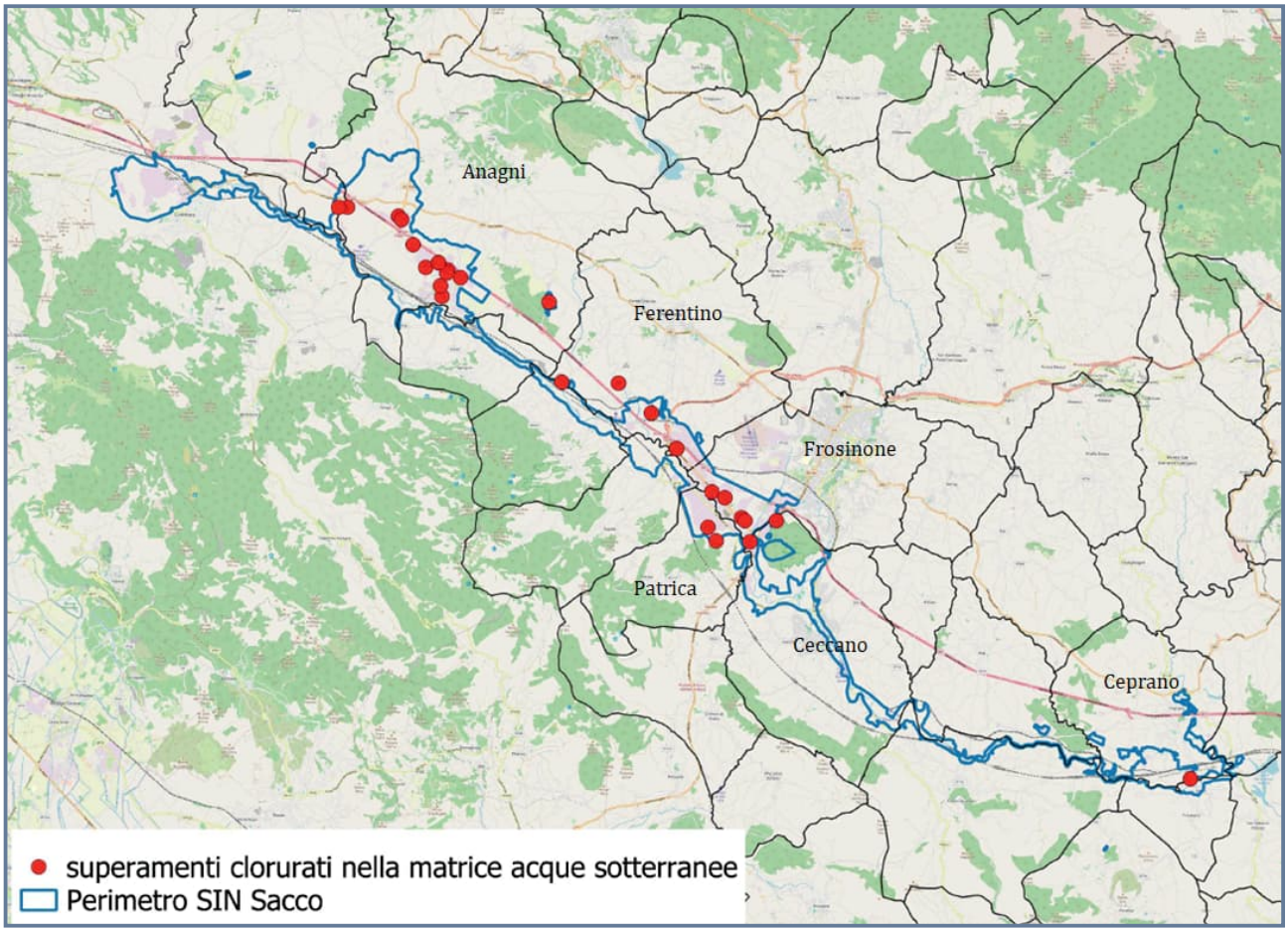


Figura 36. Distribuzione delle contaminazioni da solventi clorurati nelle acque sotterranee

3.3.3.3 I valori di fondo

Come anticipato nel paragrafo precedente, sia nelle acque di falda soggiacenti il SIN Bacino del Fiume Sacco, sia nei terreni ricompresi all'interno del perimetro è stata riscontrata la presenza di diversi elementi chimici appartenenti alla famiglia dei metalli e metalloidi, non riconducibili né associabili ad alcuna attività antropica svolta presso le aree indagate.

Dunque, tenuto conto delle caratteristiche geologiche e idrogeologiche di dettaglio dei singoli siti, è stato possibile avviare un percorso volto all'attribuzione delle eccedenze misurate in campo a cause naturali dovute essenzialmente all'instaurarsi, con il passare del tempo, di processi chimico-fisici evolutivi che hanno interessato sia il sedime già ricco dei citati elementi, sia gli acquiferi, i quali, a seguito di specifici fenomeni di dissoluzione legati alle condizioni di alcalinità, hanno incrementato la presenza di determinati analiti.

Per tali casi il d.lgs. n. 152/2006 (art. 240, comma 1 lettera b) prevede che: "... nel caso in cui il sito potenzialmente contaminato sia ubicato in un'area interessata da fenomeni antropici o naturali che abbiano determinato il superamento di una o più concentrazioni soglia di contaminazione, queste ultime si assumono pari al valore di fondo esistente per tutti i parametri superati".

Al fine di poter correttamente determinare i Valori di Fondo (VFN) di cui sopra, l'ISPRA supportata da tutte le Agenzie regionali/provinciali per la protezione dell'ambiente ha prodotto delle linee guida (SNPA 08/2018), frutto di esperienze e competenze sviluppate dalle citate Agenzie ambientali regionali/provinciali. Tali Linee guida hanno come obiettivo di fornire indicazioni metodologiche sulla determinazione dei valori di fondo nei suoli e nelle acque sotterranee in diversi ambiti (siti contaminati, terre e rocce da scavo ecc.).

L'introduzione dei valori di fondo (VFN) e delle modalità con cui gestire i procedimenti volti a dimostrare che una determinata non conformità rispetto ai limiti di legge è dovuta a cause naturali trova applicazione anche nell'attuale disposto normativo, nel quale, a seguito dell'introduzione dell'art. 242 comma 13 ter del d.lgs. 152/06 e ss.mm.ii., è stata data la possibilità ai soggetti proponenti di procedere in tal senso.

L'impalcatura normativa nazionale e regionale attribuisce all'ARPA Lazio la competenza istituzionale di definire i valori di fondo naturale sia nei suoli che nelle acque di falda. L'Agenzia, nell'ambito delle proprie valutazioni istruttorie, procede a tale definizione implementando per ciascun sito uno specifico modello concettuale. Il modello concettuale costituisce l'elemento centrale del procedimento proposto per la determinazione dei valori di fondo a partire da uno scenario definito.

L'elaborazione di un modello concettuale robusto risulta fondamentale per la definizione numerica del fondo e dovrà essere basato sull'individuazione di una serie di fattori che consentano di definire il contesto ambientale all'interno del quale si andrà ad operare, acquisendo nella scala opportuna tutti gli elementi conoscitivi disponibili, in grado di dimensionare la diffusione degli elementi chimici di interesse nello spazio e nel tempo.

Una volta implementato il modello concettuale l'Agenzia, qualora fattibile, procede alle simulazioni statistiche meglio descritte dalla LG SNPA 08/2018 "Linee guida per la determinazione dei Valori di Fondo per i suoli e per le acque sotterranee", calcolando il VFN, ovvero assumendo la Cmax in caso di compatibilità geologica e idrogeologica.

Restando sul tema dei VFN, giova evidenziare che il perimetro del SIN occupa una superficie di circa 72 km^2 e per ovvie ragioni di estensione va a coprire aree che hanno una vocazione industriale e commerciale, aree a preminente destinazione verde pubblico e aree destinate a utilizzo agricolo.

Tutte queste aree, in ragione della loro collocazione, risultano per definizione "potenzialmente contaminate" e ogni attività da realizzarsi all'interno delle stesse è assoggettata alle previsioni di legge dettate dalla parte IV – titolo V del d.lgs. 152/06 e ss.mm.ii., con particolare riferimento alla caratterizzazione qualitativa dei suoli e delle acque sotterranee.

L'espletamento di detti processi di caratterizzazione, portati avanti dai soggetti privati secondo gli obblighi di legge, hanno rilevato in molte circostanze la presenza di taluni metalli come *arsenico, berillio, tallio, vanadio, cobalto, selenio, piombo,* nei suoli e *arsenico, ferro, alluminio*, *manganese* nelle acque di falda, in concentrazioni eccedenti rispetto ai limiti fissati dalle tabelle 1 e 2 del TUA. L'approfondimento scientifico di queste non conformità ha messo in evidenza come nella maggior parte dei casi le stesse siano risultate del tutto sconnesse con ed estranee ai processi industriali dei singoli siti, oppure siano state rilevate in siti storicamente privi di qualsivoglia attività industriale o antropica, inducendo i soggetti proponenti a percorrere la strada che porta all'attribuzione delle anomalie a VFN.

Lo scenario che si delinea in quest'ottica mostra un costante e continuo aumento delle istanze presentate dai soggetti proponenti volte all'attribuzione delle eccedenze rilevate nei suoli o nelle acque di falda a VFN. Entrando nel merito, per quanto riguarda la sola provincia di Frosinone, dall'1 gennaio 2022 al 30 giugno 2025 sono state istruite oltre 50 istanze volte ad attestare la naturale presenza di metalli e metalloidi nei terreni e nelle acque di falda.

In coerenza con quanto sopra, l'accordo di programma sottoscritto il 12 marzo 2019 dalla Regione Lazio e dal Ministero, inerente alle attività di bonifica da svolgersi nel SIN "Bacino del fiume Sacco", prevede, tra l'altro, la definizione dei valori di fondo naturale (VFN) per le acque sotterranee e per i suoli di detto SIN, specificando, a tal riguardo, che tali VFN verranno calcolati e definiti secondo le succitate linee guida.
In tale ambito e, secondo gli accordi, all'ARPA Lazio è stato demandato il compito di determinare i VFN per i suoli mentre il Consiglio nazionale delle ricerche determinerà i VFN per le acque sotterranee.

In conclusione, ferme restando le criticità emerse per i siti dove risulta individuabile un soggetto responsabile della potenziale contaminazione e, di conseguenza, la relativa sostanza contaminate, le analisi estratte dagli archivi dell'ARPA Lazio su campioni di suolo/sottosuolo e sui campioni di acque sotterranee, relative alla caratterizzazione di siti collocati all'interno del perimetro del SIN Bacino del Fiume Sacco hanno messo in evidenza:

- per i suoli, una diffusa presenza di elementi chimici appartenenti alla famiglia dei metalli e metalloidi come *arsenico, berillio, tallio, vanadio, cobalto, selenio, piombo*, la cui presenza risulta nella maggior parte dei casi verosimilmente associabile a fenomeni di origine naturale;

- per le acque sotterranee, una diffusa presenza di elementi chimici appartenenti alla famiglia dei metalloidi come *arsenico, ferro, alluminio, manganese* la cui presenza risulta nella maggior parte dei casi verosimilmente associabile a fenomeni di origine naturale, e una presenza molto meno diffusa ma comunque non trascurabile di elementi chimici appartenenti alla famiglia dei solventi clorurati, i quali, in alcune circostanze, considerata la storicità del rinvenimento e la contestuale impossibilità di riconoscere una sorgente puntuale di contaminazione, assumono carattere di contaminazione diffusa.

Da ultimo, per quanto attiene ai contaminanti indice di potenziale apporto antropico (markers) del Sito di interesse nazionale "Bacino del fiume Sacco" (esaclorocicloesani (isomeri α, β e γ), Alaclor, DDT, DDD e DDE), si evidenzia che dai dati in possesso dell'ARPA Lazio non sono stati rilevati particolari superamenti delle CSC di cui alla tabella 2, allegato 5 parte IV del d.lgs.. 152/06 e s.m.i.

4. Conclusioni

Il report, sulla base dei dati raccolti dall'Agenzia attraverso le attività di monitoraggio e controllo, rappresenta sinteticamente, in termini qualitativi e quantitativi, lo stato ambientale dell'area denominata "Valle del Sacco", aggiornato all'anno 2024 e alle matrici acqua, aria, e suolo.

ACQUE

L'attività di monitoraggio delle acque superficiali e sotterranee nella Valle del Sacco ai sensi della direttiva Acque 2000/60/CE e del d.lgs. 152/06 conduce oggi ad una classificazione di stato ambientale complessivamente critica in tutto il bacino idrografico superficiale e in alcuni punti della rete delle acque sotterranee. I dati relativi all'asta del fiume Sacco e dei suoi affluenti mostrano una stabile condizione di problematicità nel raggiungimento degli obiettivi ambientali fissati dall'art. 4 della DQA.

L'analisi biologica e chimica sugli ecosistemi acquatici continua a evidenziare una scarsa qualità ecologica dei corpi idrici, correlata con fattori di pressione puntuali e diffusi, rappresentati principalmente dagli scarichi urbani e dal dilavamento delle aree agricole. Risulta particolarmente critico il tratto del fiume Sacco che attraversa la provincia di Frosinone, nel quale i dati mostrano fenomeni di contaminazione cronica da sostanze persistenti quali l'esaclorocicloesano, ma in cui lo stato chimico risulta altresì inficiato dalla presenza di altre sostanze, fra cui i pesticidi e i composti perfluoroalchilici.

Il recupero della qualità delle acque territoriali richiede interventi trasversali che riguardano la gestione delle reti di collettamento, la promozione di politiche agricole sostenibili, soprattutto in riferimento alle Zone Vulnerabili ai Nitrati (ZVN) e piani di monitoraggio e risanamento finalizzati, ove possibile ed economicamente sostenibile, alla rimozione di elementi di inquinamento cronico, al fine di garantire la tutela della salute umana e degli ecosistemi acquatici.

ARIA

La qualità dell'aria nella Valle del Sacco è una delle più critiche nel territorio della regione Lazio. Nonostante il trend sia in netto miglioramento, permangono livelli elevati di inquinanti come PM_{10}, $PM_{2.5}$ e NO_2, con superamenti frequenti dei limiti normativi soprattutto per il PM_{10}. Le centraline di monitoraggio nella valle registrano sistematicamente valori prossimi o superiori ai limiti, con alcune stazioni che superano il limite giornaliero di 50 $\mu g/m^3$ più di 35 volte l'anno, indicando una situazione di inquinamento persistente e significativa.

In previsione dei nuovi limiti introdotti dalla direttiva europea sulla qualità dell'aria (direttiva UE 2024/2881 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2024 relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa), le tendenze osservate nel 2024 non risultano in grado di assicurare il raggiungimento degli obiettivi prefissati. Tale direttiva prevede un progressivo adeguamento degli standard di qualità dell'aria dell'UE alle raccomandazioni dell'OMS entro il 2030, con un pieno allineamento entro il 2050, puntando all'obiettivo "zero pollution".

L'analisi dei dati presentati in questo documento, unitamente all'aggiornamenti dei limiti stabiliti dalla nuova direttiva, mettono in evidenza l'urgenza di interventi per contrastare il deterioramento della qualità dell'aria.

SUOLO

Il suolo è una risorsa non rinnovabile e limitata che garantisce una moltitudine di servizi ambientali o ecosistemici indispensabili (incluse la produzione alimentare, il risanamento e la salvaguardia delle acque sotterranee ecc.).

I fenomeni d'inquinamento rappresentano una delle minacce che mettono a rischio la qualità del suolo e la capacità di adempiere alle varie funzioni, con conseguenze locali di natura sanitaria ed economica, legate soprattutto alla perdita di valore delle aree contaminate e ai costi di ripristino ambientale.

Prevenire l'inquinamento, mantenere il suolo sano, ma anche risanarlo è fondamentale per raggiungere la maggior parte degli obiettivi di sviluppo sostenibile (ONU Agenda 2030).

Le attività di indagine condotte dall'ARPA Lazio nell'ambito dei siti oggetto di procedimento di bonifica all'interno del SIN Bacino del Fiume Sacco hanno permesso di monitorare lo stato di qualità dei suoli e delle acque sotterranee, mostrando frequenti superamenti rispetto ai limiti di legge di elementi chimici appartenenti alla famiglia dei composti inorganici (metalli e metalloidi), la cui presenza, nella maggior parte dei casi, sembrerebbe derivare dalle caratteristiche geologiche e idrogeologiche dei terreni e delle acque sotterranee e in misura meno frequente, ma comunque da non sottovalutare, anche di elementi chimici appartenenti alla famiglia dei solventi clorurati nelle acque sotterranee, per i quali sono necessari interventi di bonifica appropriati, come il biorisanamento mediante batteri dealogenanti.

La Valle del Sacco

ARPALAZIO
AGENZIA REGIONALE PROTEZIONE AMBIENTALE DEL LAZIO

ISBN 979-12-81184-40-4