UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di Laurea Magistrale

in BIOLOGIA MOLECOLARE E APPLICATA

Distribuzione e dinamica della contaminazione da Salmonella nelle acque superficiali della provincia di Teramo nel periodo 2020–2025

Distribution and dynamics of Salmonella contamination in surface waters of the province of Teramo during the 2020–2025 period

Tesi di Laurea Magistrale di:

Daniela DE LUCA

Chiar.mo Prof. Relatore

Maurizio CIANI

Correlatore:

Francesco DI GIALLEONARDO

Sessione Autunnale

Anno Accademico

2025/2026

INDICE TEMATICO

1 INTRODUZIONE

1.1 Importanza dell'acqua per la salute pubblica

1.2 Relazione fra qualità dell'acqua e malattie trasmesse per via idrica

1.3 Acqua destinata al consumo umano

1.3.1 Definizione di acqua potabile

1.3.2 Fonti di approvvigionamento

1.4 Origine degli inquinanti

1.4.1 Attività agricole

1.4.2 Attività industriali

1.4.3 Scarichi civili

1.4.4 Infiltrazione nelle falde

1.5 Effetti sulla salute umana

1.5.1 Contaminazione dell'acqua e significato del rischio sanitario

1.5.2 Esposizione microbiologica ed effetti sulla salute

1.5.3 Contaminanti chimici e limiti dell'indagine

1.5.4 Interpretazione sanitaria delle positività ambientali

1.5.5 Implicazioni per la prevenzione

1.6 Batteri patogeni di interesse: SALMONELLA

1.6.1 Tassonomia e morfologia

1.6.2 Principali sierotipi patogeni

1.6.3 Resistenza ambientale

1.7 Contaminazione microbiologica delle acque del teramano

1.7.1 Indicatori microbiologici e patogeni nelle acque

1.8 Salmonellosi

1.8.1 Epidemiologia

1.8.2 Sintomi clinici

1.8.3 Gruppi a rischio

1.9 Vie di contaminazione dell'acqua da salmonella

1.9.1 Contaminazione fecale

1.9.2 Insufficienza di trattamento o disinfezione

1.9.3 Guasti nella rete di distribuzione

1.10 Trattamenti di potabilizzazione ed efficacia nei confronti di salmonella

2 SCOPO DEL LAVORO

3 MATERIALI E METODI

3.1 Normative di riferimento nel metodo di campionamento

3.1.1 Rapporti ISTISAN 07/31 ai sensi del D.Lgs 31/2001

3.1.2 Limiti di legge (D.Lgs. 18/2023).

3.2 Organo campionatore: il SIAN di Teramo

3.2.1 L'Ente

3.2.2 Report, Comuni controllati e luoghi di prelievo

3.3 Ente di analisi e monitoraggio: ARPA ABRUZZO

3.3.1 L'Agenzia

3.3.2 Il Campionamento

3.4 Archivio dei dati e unità di osservazione

3.5 Selezione e descrizione dei siti dei casi studio

3.6 Elenco utilizzato per l'analisi descrittiva dei sierotipi

3.7 Fonti documentali utilizzate per il caso studio

4 RISULTATI

4.1 Analisi dei dati ARPA del database preliminare

4.2 Andamento temporale e stagionalità

4.3 Precipitazioni antecedenti e indicatori microbiologici

4.4 Distribuzione dei sierotipi nei campioni positivi aggiornati

4.5 Distribuzione territoriale dei campioni positivi a Salmonella

5 DISCUSSIONE DEI DATI

5.1 Confronto fra le diverse realtà territoriali del teramano

5.2 Andamento temporale e stagionalità

5.3 Precipitazioni antecedenti e positività a Salmonella

5.4 Precipitazioni e indicatori di contaminazione fecale

5.5 Indicatori microbiologici e Salmonella

5.6 Rapporto tra pioggia, contaminazione fecale e Salmonella

5.7 Differenze tra i punti di campionamento

5.8 Significato epidemiologico e ambientale delle tipizzazioni

5.9 Limiti dello studio

5.10 Implicazioni per il monitoraggio

6 CONCLUSIONI

BIBLIOGRAFIA

B.1 Letteratura scientifica

B.2 Istituto Superiore di Sanità, sorveglianza ed epidemiologia

B.3 Metodi analitici e normativa

B.4 Fonti istituzionali e territoriali – Abruzzo e Provincia di Teramo

B.5 Dati meteorologici e materiali del presente studio

B.6 Fonti specifiche su Salmonella Napoli

Capitolo primo

1 INTRODUZIONE

1.1 Importanza dell'acqua per la salute pubblica

Quando si pensa alla parola "acqua", la mente corre veloce a quell'elemento essenziale, fondamentale per la salute, che permette non soltanto la banale idratazione corporea, ma molto altro; infatti, quel che forse molti non sanno, è che essa regola anche la temperatura corporea, svolge il ruolo di trasportatore di nutrienti e si occupa anche dell'eliminazione delle tossine.

Considerando il suo ruolo e funzione fondamentali, un accesso garantito ad acqua potabile e soprattutto di qualità, è basilare per prevenire malattie infettive e croniche, salvaguardando non solo la propria salute, ma anche quella di intere comunità.

L'accesso all'acqua potabile è un diritto umano fondamentale e sta alla base della salute pubblica e dell'igiene, per cui la disponibilità di acqua salubre, di qualità appunto, ridurrà drasticamente il rischio di quelle malattie legate anche alla contaminazione (diarrea, colera, ecc.), specialmente nei soggetti fragili, quali bambini ed anziani. Tuttavia, non

essendo inesauribile, risulta essere una risorsa da tutelare e da usare in modo responsabile, in quanto risorsa fondamentale per il concetto di vita stessa.

1.2 Relazione fra qualità dell'acqua e malattie trasmesse per via idrica

Il Centro Nazionale per la Sicurezza delle Acque (CeNSiA) dell'Istituto Superiore di Sanità[1] sulla base di 2,5 milioni di analisi eseguite (nell'anno dal 2020 al 2022), con il suo primo rapporto pubblicato nel Luglio 2024 afferma che l'acqua potabile nelle case italiane è sostenibile e sicura, ed è conforme ai parametri indicati dalla legge in quasi il 100% dei casi[2]. (Istituto Superiore di Sanità - CeNSiA, 2024).

Per tanto, nel concetto di "sicurezza", rientra anche la "qualità" dell'acqua, perché tale presupposto è uno dei fattori più importanti nel determinare la diffusione delle malattie trasmesse per via idrica, cioè quelle causate dal consumo o dall'uso di acqua contaminata da

---

[1] Comunicato stampa n°32/2024, sito Iss.it

[2] Analisi chimiche, chimico-fisiche e microbiologiche condotte in 18 Regioni e Province Autonome, corrispondenti a oltre il 90% della popolazione italiana

microrganismi patogeni (batteri, virus, parassiti) o sostanze chimiche nocive.

La relazione è diretta: peggiore è la qualità dell'acqua, maggiore è il rischio di malattie. La qualità dell'acqua rappresenta un fattore chiave di prevenzione delle malattie trasmesse per via idrica.
Nei paesi non industrializzati, il miglioramento delle infrastrutture idriche può ridurre drasticamente la mortalità; nei paesi industrializzati, il problema è mantenere alti standard di controllo per prevenire eventi eccezionali.

1.3 ACQUA DESTINATA AL CONSUMO UMANO

1.3.1 Definizione di acqua potabile

L'acqua destinata al consumo umano è un elemento essenziale per la salute pubblica e deve rispondere a precisi requisiti di sicurezza igienico-sanitaria, stabiliti da normative nazionali e internazionali. (Direttiva (UE) 2020/2184; D.Lgs. 18/2023).

Per definizione si definisce "acqua potabile": l'acqua che può essere consumata dall'uomo senza rischi per la salute, poiché priva di microrganismi patogeni, che non contiene sostanze chimiche tossiche in

concentrazioni pericolose, che possiede caratteristiche organolettiche accettabili (colore, odore, sapore) e che rispetti i parametri microbiologici, chimici e fisici previsti dalla legge. (Direttiva (UE) 2020/2184; D.Lgs. 18/2023).

Ovviamente, l'acqua potabile deve essere sicura sia nel breve che nel lungo periodo.

1.3.2 Fonti di approvvigionamento

Le fonti di approvvigionamento dell'acqua destinata al consumo umano possono essere distinte in acque superficiali**,** acque sotterranee e acque distribuite in rete**.** (Direttiva (UE) 2020/2184; D.Lgs. 18/2023).

"Acque superficiali": sono acque presenti sulla superficie terrestre (fiumi, laghi, invasi artificiali, dighe) e godono di caratteristiche come l'elevata disponibilità, la maggiore esposizione a inquinamento chimico e microbiologico e qualità variabile in base a clima e attività antropiche. Questo tipo di acque richiedono trattamenti complessi e continui prima della potabilizzazione. (Liu et al., 2018; Rocha et al., 2022).

"Acque sotterranee": sono acque presenti nel sottosuolo, contenute in falde acquifere (pozzi, sorgenti). Queste sono generalmente più protette da contaminazioni, con migliore qualità microbiologica naturale, tuttavia

vi è la possibilità della presenza di contaminanti chimici (arsenico, nitrati, ferro). Necessitano di trattamenti per la depurazione, ma spesso sono minimi. Sono considerate tra le fonti più sicure, se ben protette. (De Giglio et al., 2016).

“Acque in rete” (acqua distribuita): sono le acque potabili che, dopo trattamento, vengono immesse nella rete idrica e distribuite agli utenti. Provengono da acque superficiali o sotterranee, sono sottoposte a controlli regolari e la qualità è mantenuta fino al punto di consumo. Tuttavia esistono possibili criticità, come l’invecchiamento delle tubazioni, contaminazioni accidentali o presenza di biofilm. In questi casi la sicurezza dipende sia dalla qualità della fonte e sia dallo stato della rete di distribuzione. (Direttiva (UE) 2020/2184; D.Lgs. 18/2023).

In sintesi si può affermare che l’acqua destinata al consumo umano può provenire da diverse fonti, ciascuna con caratteristiche e criticità specifiche, per cui, mentre le acque superficiali e sotterranee rappresentano la risorsa grezza presente in natura, l'acqua in rete è il prodotto finito pronto all'uso. La potabilità è garantita solo attraverso adeguati trattamenti, controlli costanti e una corretta gestione delle infrastrutture idriche**.**

1.4 ORIGINE DEGLI INQUINANTI

1.4.1 Attività agricole

L'inquinamento delle acque di origine agricola deriva principalmente da fonti diffuse (uso eccessivo di prodotti chimici, spandimento di liquami) che colpiscono le acque superficiali attraverso il ruscellamento e le acque sotterranee tramite la lisciviazione (la lisciviazione è il processo con cui l'acqua piovana attraversa i rifiuti nelle discariche, generando il percolato). Le principali sostanze inquinanti includono nitrati, fosforo, pesticidi, residui organici e plastiche. In questo studio, si pone particolare enfasi sui reflui degli allevamenti, i quali contengono batteri, virus e farmaci (antibiotici, ormoni) che possono contaminare le acque.

1.4.2 Attività industriali

L'inquinamento idrico di origine industriale deriva principalmente dallo scarico, diretto o indiretto, di reflui non trattati o parzialmente trattati, sostanze chimiche, metalli pesanti e acque di dilavamento provenienti dai siti produttivi. Questi inquinanti colpiscono le acque superficiali (fiumi, laghi, mari), le falde sotterranee e, tramite infiltrazioni, le reti di distribuzione.

1.4.3 Scarichi civili

L'inquinamento da scarichi civili ha origine principalmente dalle attività domestiche (bagni, cucine, lavanderie) e dai servizi (uffici, scuole, attività commerciali). Tali acque reflue, contenenti sostanze organiche, nutrienti, prodotti chimici e microorganismi, vengono convogliate nella rete fognaria e, se non adeguatamente depurate, inquinano i corpi idrici superficiali, sotterranei e la rete stessa. Microrganismi patogeni rinvenibili sono batteri, virus e parassiti (i più comuni: E. Coli e Legionella).

1.4.4 Infiltrazione nelle falde

L'inquinamento delle falde acquifere per infiltrazione ha origine principalmente da attività antropiche che rilasciano sostanze inquinanti sul suolo o nel sottosuolo, le quali vengono poi trasportate dalle acque meteoriche o di irrigazione. Queste infiltrazioni derivano dalle sopracitate attività e a queste si aggiungono pure l'acqua che attraversa discariche e rifiuti (va a costituire il percolato), perdite fognarie o la dispersione di acque di scarico non depurate, che provoca la contaminazione batterica e chimica delle acque sotterranee, perdite da cisterne interrate e infiltrazione di acque meteoriche contaminate che andranno comunque ad infiltrare nel

terreno. Tutti questi inquinanti attraversano la "zona vadosa" (lo strato di terreno tra la superficie e la falda) principalmente per gravità, compromettendo la qualità della risorsa idrica sotterranea.

1.5 EFFETTI SULLA SALUTE UMANA

1.5.1 Contaminazione dell'acqua e significato del rischio sanitario

Gli inquinanti descritti nel paragrafo 1.4 possono compromettere la qualità delle risorse idriche, ma il loro riscontro nell'ambiente non coincide automaticamente con un danno alla salute. È necessario distinguere il pericolo, rappresentato dalla presenza di un agente potenzialmente nocivo, dal rischio, che dipende anche dall'esposizione e dalle caratteristiche della popolazione. Questa distinzione è essenziale nella lettura di uno studio su acque superficiali grezze.

L'acqua contaminata può veicolare infezioni enteriche; la qualità chimica costituisce un ulteriore ambito di tutela sanitaria. Gli effetti non dipendono soltanto dall'origine agricola, industriale o civile della contaminazione, ma anche dalla natura dell'agente e dalle modalità con cui raggiunge l'uomo. La prevenzione deve quindi considerare l'intero percorso dalla risorsa all'utilizzatore (WHO, 2022; WHO, 2023).

1.5.2 Esposizione microbiologica ed effetti sulla salute

Per Salmonella, la trasmissione avviene per via oro-fecale. L'acqua può costituire un veicolo quando viene ingerita contaminata; può inoltre contribuire alla contaminazione degli alimenti durante la produzione o la preparazione. Per interpretare un campione ambientale occorre pertanto considerare l'uso effettivo dell'acqua e la presenza di trattamenti prima dell'esposizione umana (ISS–EpiCentro, s.d.; WHO, 2018).

Le forme non tifoidee causano prevalentemente gastroenterite. Oltre ai sintomi intestinali, hanno rilevanza la perdita di liquidi e le possibili forme invasive nei soggetti vulnerabili. Possono inoltre verificarsi conseguenze successive all'episodio acuto, come l'artrite reattiva. Questi esiti descrivono possibilità cliniche generali: non sono stati indagati nella popolazione del presente studio.

La suscettibilità individuale e l'opportunità di esposizione sono dimensioni differenti. Una persona può essere esposta più frequentemente per le attività svolte senza avere necessariamente una maggiore predisposizione alla malattia grave. Viceversa, una persona fragile può presentare conseguenze più rilevanti anche in assenza di esposizioni

frequenti. I sintomi e i gruppi vulnerabili sono approfonditi nel paragrafo 1.8.3

1.5.3 Contaminanti chimici e limiti dell'indagine

La contaminazione chimica richiede una valutazione distinta da quella microbiologica. I controlli su Salmonella e sugli indicatori batterici non misurano la presenza di nitrati, metalli, pesticidi o altre sostanze. Analogamente, un risultato favorevole per i parametri chimici analizzati non dimostra l'assenza di patogeni. Si tratta di componenti complementari della valutazione della qualità dell'acqua.

Nel presente lavoro non sono stati stimati effetti tossicologici, né livelli di esposizione della popolazione ai contaminanti chimici. Il richiamo alle possibili pressioni agricole, industriali e civili serve a descrivere il contesto territoriale e non dimostra il rilascio di una sostanza da parte di una specifica attività. Per tanto, farò in modo che le conclusioni rimangano circoscritte ai parametri effettivamente analizzati in questo studio.

1.5.4 Interpretazione sanitaria delle positività ambientali

Il ritrovamento di Salmonella in un campione di acqua superficiale documenta la presenza del patogeno nel volume esaminato e al momento

del prelievo. Non misura la dose ingerita da una persona e non costituisce una diagnosi di salmonellosi. Anche la proporzione di campioni positivi è un indicatore della serie di monitoraggio, non una percentuale di abitanti esposti o ammalati.

Per collegare le positività ambientali a infezioni umane occorrerebbero dati clinici e informazioni sull'esposizione, insieme a confronti microbiologici adeguati. La coincidenza del sierotipo potrebbe spingere verso un approfondimento, ma non sarebbe sufficiente a dimostrare un'origine comune. Nel dataset qui presentato, non sono disponibili gli elementi necessari per una simile attribuzione.

La presenza nella risorsa grezza non implica che il microrganismo superi le barriere di potabilizzazione e raggiunga la rete. Allo stesso modo, un singolo campione negativo non certifica l'assenza del patogeno in tutto il corso d'acqua o durante l'intero anno. Quindi si invita ad una lettura sanitaria critica che richieda attenzione anche ai limiti temporali e analitici del campionamento.

1.5.5 Implicazioni per la prevenzione

La rilevanza sanitaria di questa indagine risiede soprattutto nel contributo alla conoscenza della risorsa e nell'individuazione di aspetti da

approfondire. Ricorrenza delle positività, variabilità tra siti e relazione con le precipitazioni possono orientare nuove domande di monitoraggio; non sostituiscono la valutazione delle autorità competenti, né dimostrano un rischio clinico quantificato.

La protezione della salute richiede una gestione preventiva che colleghi tutela del bacino, controllo delle captazioni, trattamento e sorveglianza della distribuzione. Le linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità propongono tale visione mediante i piani di sicurezza dell'acqua. In questo quadro, i dati ambientali della tesi costituiscono un elemento conoscitivo da integrare con le altre informazioni della filiera (WHO, 2022).

1.6 BATTERI PATOGENI DI INTERESSE: SALMONELLA

1.6.1 Tassonomia e morfologia

La Salmonella è un batterio Gram negativo di forma bastoncellare, appartenente alla famiglia Enterobatteriacee e genere Salmonella. Il genere Salmonella comprende due specie: Enterica, che a sua volta comprende 6 sottospecie, e Bongori. Poiché Salmonella ha come habitat il tratto intestinale dell'uomo e degli animali, la sua diffusione

nell'ambiente è conseguente a contaminazione fecale. Sono in particolare considerati serbatoi di infezione gli avicoli (polli e tacchini in particolare) e i suini e anche gli animali da compagnia (cani, gatti, rettili) possono albergare ed eliminare Salmonella. Ci sono ceppi di Salmonella adattati all'ospite, comprendenti ad esempio sierotipi che infettano solo l'uomo, come S. Tifo e ceppi di Salmonella non adattate all'ospite, che sono in grado di infettare sia l'uomo che animali di specie diversa, come per esempio S. Enterica e S. Tifimurio, e che cono i sierotipi più frequentemente responsabili di tossinfezioni alimentari; dunque la salmonellosi è quella malattia causata dalla Salmonella, che può colpire sia gli animali che l'uomo. Nell'ambiente Salmonella ha una elevata capacità di sopravvivenza e può resistere anche alle temperature tipiche dei periodi estivi o invernali. La salmonellosi è una malattia diffusa davvero in tutto il mondo. Non è esclusivamente associata a Paesi in cui le condizioni igienico-sanitarie sono carenti, essendo tra le principali malattie alimentari nei Paesi industrializzati; in Italia Salmonella è la prima causa di malattia associata al consumo di alimenti.

Questi batteri sono generalmente mobili grazie a flagelli peritrichi (distribuiti su tutta la superficie), misurano circa 0,3-3,5 micrometri, sono

catalasi-positivi e ossidasi-negativi. Fermentano il glucosio producendo gas, ma non il lattosio.

Molti ceppi formano fimbrie (o pili) che facilitano l'adesione alle cellule ospiti, ma non formano spore.

Sono inoltre anaerobi facoltativi (crescono sia in presenza che in assenza di ossigeno), con crescita ottimale tra 35-43°C, ma anche in grado di svilupparsi tra +5,2° che i +46°C.

Da prestare particolarmente attenzione a questa loro caratteristica, ovvero, la loro sensibilità ai disinfettanti comuni e al calore (uccisi a 70°C per 15 min), ma resistenti al congelamento!

1.6.2 Principali sierotipi patogeni

Dal punto di vista antigenico Salmonella è classificata in più di 2400 sierotipi, alcuni dei quali (per esempio S. Enterica e S. Tifimurio).

I principali sierotipi patogeni per l'uomo si dividono in forme tifoidee (sistemiche) e non tifoidee (gastrointestinali). I più diffusi sono Salmonella Tifimurio e Salmonella Enterica, responsabili della maggior parte delle gastroenteriti, mentre Salmonella Tifo e Paratifo causano le gravi febbri enteriche.

Benché esistano oltre 2400 sierotipi, solamente un numero limitato causa la maggior parte delle infezioni.

La prevenzione si basa su una corretta igiene alimentare, come evidenziato dalle linee guida del Ministero della Salute.

1.6.3 Resistenza ambientale

Salmonella è un batterio molto resistente nell'ambiente, capace di sopravvivere per settimane o mesi in terreni, acque, lettiere e alimenti, specialmente in ambienti umidi. È sensibile a temperature superiori, ma tollera ampi range di pH e si adatta a stress ambientali modificando le sue proteine di membrana.

Persiste a lungo in ambienti secchi, polveri, feci, alimenti (carni avicole, uova) e acqua.

Risponde agli stress (es. disinfettanti) modificando le proteine esterne di membrana (OMP) tramite piccoli RNA (sRNA) per inibire l'espressione di proteine non necessarie.

Può adattarsi agli agenti acidi, rendendo necessaria la rotazione dei disinfettanti, umidità e calore (temperatura ambiente) invece, ne favoriscono la sopravvivenza, mentre temperature sopra i 70°C come abbiamo già sottolineato precedentemente, la inattivano.

L'acidificazione delle fonti di acqua può creare un ambiente sfavorevole. Il batterio si adatta comunque facilmente, rendendo obbligatorio un suo monitoraggio costante.

1.7 CONTAMINAZIONE MICROBIOLOGICA DELLE ACQUE DEL TERAMANO

1.7.1 Indicatori microbiologici e patogeni nelle acque

La valutazione microbiologica delle acque superficiali del teramano richiede di distinguere la contaminazione fecale dalla presenza di uno specifico patogeno. Gli indicatori descrivono alcune caratteristiche igieniche della matrice; la ricerca di Salmonella spp. documenta invece il rilevamento del microrganismo nel campione esaminato. Le due informazioni sono complementari e devono essere interpretate insieme alle condizioni del prelievo, alla provenienza dell'acqua e alle caratteristiche del metodo analitico.

La presenza di indicatori fecali e quella di Salmonella possono dipendere da apporti comuni, ma non necessariamente seguono lo stesso andamento. I microrganismi possono differire per persistenza, interazione con i sedimenti e risposta alle condizioni ambientali. La letteratura evidenzia

pertanto limiti nell'impiego degli indicatori come sostituti della ricerca diretta di Salmonella nelle acque (Liu et al., 2018).

Nel confronto dei campioni sono possibili esiti differenti: valori elevati degli indicatori con Salmonella rilevata, valori elevati senza rilevamento del patogeno oppure positività a Salmonella in presenza di conte più contenute. Queste combinazioni non sono necessariamente contraddittorie. Un'associazione statistica descrive una tendenza nell'insieme dei campioni; non implica che il valore di un indicatore consenta di prevedere con certezza l'esito di ogni singolo prelievo.

1.8 SALMONELLOSI

1.8.1 Epidemiologia

In Italia, la presenza di Salmonella specie nelle acque superficiali (fiumi, laghi, acque reflue) rappresenta un indicatore critico di contaminazione fecale e un rischio per la salute pubblica, specialmente per usi irrigui o ricreativi.

Studi indicano che nessun corpo idrico superficiale italiano può considerarsi completamente esente da Salmonella. La sua presenza è

legata principalmente a scarichi civili, attività zootecniche intensive e malfunzionamenti dei sistemi di depurazione.

Dati sui casi umani (2023-2024) resi pubblici nel 2025:

nel 2023, si evince che l'Italia ha registrato 3.333 casi di salmonellosi umana (5,6 casi ogni 100.000 abitanti), un dato in calo rispetto all'anno precedente. Sebbene la via alimentare rimanga prevalente, l'acqua contaminata funge da veicolo indiretto (es. irrigazione di ortaggi). Tra i sierotipi rilevanti, oltre ai comuni S. Tifimurio e S. Enterica, nelle acque italiane è frequente l'isolamento di Salmonella Napoli, un sierotipo spesso associato a matrici ambientali e acque superficiali piuttosto che agli animali. Circa la sorveglianza delle infezioni è affidata alla rete Enter-net Italia, coordinata dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS), che monitora i sierotipi circolanti anche in ambito ambientale.

La ricerca del batterio è sistematica per le acque di balneazione e le acque reflue. Recenti episodi (es. in Sicilia nel 2024) hanno evidenziato la necessità di interventi di iperclorazione a seguito di tracce di salmonella rilevate in acque provenienti da invasi superficiali destinati alla potabilizzazione.

Criticità Emergenti: circa il 60% dei fiumi e dei laghi italiani non raggiunge lo stato di qualità "buono", con picchi di contaminazione microbiologica in corrispondenza delle foci dei fiumi. La salmonellosi contratta tramite il contatto con acque superficiali (fiumi, laghi o canali contaminati) presenta una sintomatologia sovrapponibile a quella di origine alimentare, manifestandosi generalmente come una gastroenterite acuta.

Sono stati segnalati casi di superamento dei limiti anche in impianti idrici condominiali in aree urbane (es. Milano, gennaio 2025), indicando che il rischio può estendersi dai corpi idrici naturali ai sistemi di distribuzione locale. L'epidemiologia della salmonellosi legata alle acque superficiali in Italia nel 2025, riflette un'attenzione crescente verso la contaminazione ambientale come veicolo di infezione, integrata nel nuovo Piano Nazionale di Controllo della Salmonella (PNCS) 2025-2027.

Situazione Epidemiologica 2024-2025:

Nel 2024, per la prima volta, la salmonellosi è scesa al secondo posto tra le zoonosi più frequenti in Italia (superata dalla campilobatteriosi), seguendo un trend europeo consolidato.

1.8.2 Sintomi clinici

In esordio i sintomi compaiono solitamente tra le 12 e le 72 ore dopo l'ingestione accidentale di acqua contaminata, presentando manifestazioni comuni come: diarrea, spesso liquida, in alcuni casi può presentare tracce di muco o sangue, dolori addominali, crampi diffusi di intensità variabile, nausea e vomito, frequenti nelle fasi iniziali dell'infezione, e ancora febbre, generalmente compresa tra 38°C e 39°C, malessere generale, con cefalea, brividi e senso di spossatezza.

E' possibile vedere anche una evoluzione seguita da complicanze. Circa la durata, si sottolinea come, nella maggior parte dei casi, la malattia è autolimitante e i sintomi regrediscono in 4-7 giorni senza necessità di antibiotici, come indicato nelle linee guida dell'Istituto Superiore di Sanità.

Il fattore a cui prestare maggior attenzione è il rischio di disidratazione: questo è il pericolo principale, specialmente per bambini, anziani e soggetti fragili, che potrebbero richiedere il ricovero per la somministrazione di liquidi endovenosi.

Sebbene rare (circa il 5% dei casi), esistono anche forme extra-intestinali, in cui la *Salmonella* può passare nel sangue causando batteriemia o

“infezioni focali” ovvero quando il batterio si localizza in particolari organi, condizione che richiede un trattamento tempestivo documentato nel Manuale MSD per professionisti.

Salmonella Napoli

In Italia, la frequente presenza del sierotipo Salmonella Napoli nelle acque superficiali è stata associata a forme cliniche talvolta più severe rispetto ai sierotipi classici, con una maggiore incidenza di casi che richiedono ospedalizzazione.

L'esposizione alla *Salmonella* presente nelle acque superficiali italiane non colpisce tutti allo stesso modo; la gravità della sintomatologia dipende fortemente dalle difese immunitarie e dall'età dell'individuo.

1.8.3 Gruppi a rischio

Sono considerate categorie ad Alto Rischio:

Bambini piccoli (sotto i 5 anni) che rappresentano il gruppo più vulnerabile per incidenza. Il loro sistema immunitario immaturo e la facilità di disidratazione rendono l'infezione potenzialmente pericolosa.

Anziani (sopra i 65 anni) che a causa dell'immuno-senescenza e della frequente presenza di patologie croniche, corrono un rischio maggiore di complicanze gravi e forme sistemiche.

Soggetti immunodepressi come individui con HIV, pazienti oncologici in chemioterapia o persone sottoposte a trapianti, tutte persone che hanno una capacità ridotta di contenere l'infezione a livello intestinale, rischiando la diffusione del batterio nel sangue (sepsi).

Soggetti con acloridria o uso di antiacidi, in quanto la riduzione dell'acidità gastrica facilita il passaggio dei batteri vivi attraverso lo stomaco, abbassando la carica infettiva necessaria per scatenare la malattia: bastano quei pochi batteri sopravvissuti a provocare l'infezione.

Lavoratori del settore idrico e agricolo: facile supporre come chi opera a contatto con acque reflue o canali di irrigazione senza adeguati dispositivi di protezione individuale (DPI) sia maggiormente esposto, specialmente in aree con alta densità di allevamenti intensivi.

Sportivi e bagnanti e chi pratica nuoto o sport acquatici (canottaggio, pesca sportiva) in fiumi o laghi non dichiarati balneabili. Il rischio in questi casi è dovuto all'ingestione accidentale di acqua (una via di trasmissione monitorata dalle Linee Guida del Ministero della Salute).

1.9 VIE DI CONTAMINAZIONE DELL'ACQUA DA SALMONELLA

1.9.1 Contaminazione fecale

Come abbiamo ricordato in precedenza, la *Salmonella* è stata frequentemente isolata in fiumi e zone di foce, confermandosi un indicatore di contaminazione fecale, spesso collegata ad alte portate dopo piogge che portano reflui dal suolo. (Haley et al., 2009; McEgan et al., 2013).

Accade che nelle acque sotterranee (falde e pozzi), sebbene più protette, le falde possono essere contaminate, specialmente in aree carsiche (come rilevato in studi in Puglia, nel Gargano, Murge e Salento), dove la filtrazione è minore. (De Giglio et al., 2016): il sottosuolo infatti di queste aree è formato da rocce calcaree solubili che l'acqua piovana ha progressivamente sciolto nel tempo.

Si creano così vere e proprie vie di corsa preferenziali: fessure, inghiottitoi, canali sotterranei e grotte.

L'acqua superficiale (e tutto ciò che trasporta) non percola lentamente, ma percola e scorre rapidamente in profondità come se viaggiasse dentro delle tubature, saltando completamente la fase di filtrazione del suolo!

Studi in zone vulnerabili hanno evidenziato una presenza di *Salmonella* specie. nel 10,3% dei pozzi monitorati, con picchi durante i mesi più secchi. (De Giglio et al., 2016).

Pozzi vicini a fosse settiche o allevamenti (entro 30 metri) hanno un alto rischio di inquinamento, causa di focolai di salmonellosi (es. *S. Enterica*)[3].

Acque in Rete (potabili): nell'acqua trattata e disinfettata la presenza di *Salmonella* è estremamente rara, quasi nulla, tuttavia, reperirla in rete indica carenze nei processi di disinfezione (clorazione insufficiente) o rotture nelle condotte. Episodi sporadici di contaminazione in rete sono stati associati a inefficienze nella potabilizzazione di acque superficiali già inquinate. (Liu et al., 2018; D.Lgs. 18/2023).

Il Regolamento prevede che Salmonella debba essere assente nelle acque destinate al consumo umano (la normativa italiana prevede la ricerca in 1 litro di campione).

---

[3] Da NHI PubMed Valutazione microbiologica e idrogeologica delle acque sotterranee nell'Italia meridionale, 2016 PMID: 27783346

Nota: La presenza di enterococchi intestinali e clostridi è spesso usata come indicatore precoce o complementare per la ricerca di salmonella, poiché questi ultimi sono più resistenti ai trattamenti di disinfezione. (Polo et al., 1998; Liang et al., 2015).

1.9.2 Insufficienza di trattamento o disinfezione

L'insufficienza di trattamento o disinfezione rappresenta la causa primaria della presenza di *Salmonella* nelle acque destinate al consumo umano, spesso derivante da inquinamento fecale in acque superficiali e sotterranee. La *Salmonella* può persistere nell'ambiente acquatico, arrivando a contaminare la rete idrica se i sistemi di potabilizzazione sono inefficaci, obsoleti o malfunzionanti. (Liu et al., 2018).

E' possibile rinvenirla anche in acque sotterranee (pozzi, sorgenti), sebbene solitamente più protette, possono essere contaminate da infiltrazioni di reflui (pozzi neri non a norma) o in seguito a inondazioni che trascinano la contaminazione nel sottosuolo. L'uso di acqua non trattata da pozzi privati è un fattore di rischio significativo. (De Giglio et al., 2016).

E' raro ritrovarla nell'acqua potabile: una sua presenza è sintomo di un grave guasto nel sistema di approvvigionamento, inclusi trattamenti

disinfettanti inadeguati o rotture nelle condotte che permettono infiltrazioni esterne. La formazione di biofilm all'interno delle tubature può proteggere i batteri dai disinfettanti, permettendo loro di sopravvivere e ricolonizzare la rete. (Liu et al., 2018).

Alcune cause di trattamento insufficienti:

Disinfezione inadeguata con clorazione insufficiente o tempi di contatto del cloro troppo brevi. (Liu et al., 2018).

Elevata torbidità in quanto la presenza di particelle sospese nell'acqua grezza può schermare la *Salmonella* dall'azione dei disinfettanti, come raggi UV o cloro. (Liu et al., 2018).

Malfunzionamento degli impianti con errori di processo nei depuratori che rilasciano contaminanti residui.

Resistenza ai trattamenti, poiché alcuni ceppi possono sviluppare resistenza ai disinfettanti o adattarsi ad ambienti acidi.

Possibili rimedi per aumentare la sicurezza prevedono clorazione (cloro gassoso o ipoclorito di sodio) o l'utilizzo di raggi ultravioletti (UV) o sistemi a membrana. In caso di emergenza, la bollitura dell'acqua per almeno 1 minuto è sufficiente a eliminare la *Salmonella*. (Liu et al., 2018).

1.9.3 Guasti nella rete di distribuzione

In Sicilia (Novembre 2024) è stato dichiarato un allarme in oltre 15 comuni nel trapanese e nell'agrigentino (in particolare Santa Margherita Belice, Montevago e alcune aree di Sambuca di Sicilia) a causa della presenza di Salmonella nella rete idrica. I Sindaci hanno vietato l'utilizzo dell'acqua per scopi potabili[4]. (Siciliacque, 2024a; 2024b).

Sottolineiamo come i focolai di infezioni idro-trasmesse sono spesso legati ad impianti idraulici vecchi, che permette la commistione tra acque scure (fognarie) e acqua potabile. Anche le crepe nelle tubature causate da forti piogge possono portare alla contaminazione.

1.10 Trattamenti di potabilizzazione ed efficacia nei confronti di salmonella

La Salmonella ricordiamo che è un batterio sensibile ai comuni trattamenti di potabilizzazione. I processi di disinfezione, se correttamente eseguiti, sono altamente efficaci nel garantire l'assenza di questo microrganismo nell'acqua destinata al consumo umano. (Liu et al., 2018).

[4] Servizio andato in onda su SKY tg4, 29/11/24.

Il cloro è uno dei disinfettanti più utilizzati ed efficaci per uccidere la Salmonella nell'acqua, garantendo una protezione residua. (Liu et al., 2018).

L'applicazione di radiazioni UV agisce come battericida, eliminando la Salmonella. (Liu et al., 2018).

I filtri in ceramica, come quelli Doulton, hanno dimostrato un'elevata efficacia, in grado di rimuovere il batterio fino al 99,999%.

L'ozonizzazione è un processo chimico utilizzato per inattivare i patogeni. (Liu et al., 2018).

Ci sono anche trattamenti termici (ebollizione): il batterio della Salmonella non sopravvive a temperature superiori agli 80°C, rendendo l'ebollizione un metodo efficace.

Perossidisolfato di potassio, idrogenosolfato dipotassio e sanitizzanti innovativi, come il "SANIGEN", hanno mostrato efficacia contro la Salmonella specie.

Punti chiave sull'efficacia:

Anche in presenza di Salmonella nella fonte d'acqua (acque superficiali o di falda), i potabilizzatori ben gestiti riescono ad eliminarla prima della distribuzione. (Liu et al., 2018).

La presenza di Salmonella indica una contaminazione fecale primaria o secondaria. (Liu et al., 2018; Rocha et al., 2022).

Se il sistema di disinfezione non è adeguato, la Salmonella può persistere nell'acqua. (Liu et al., 2018).

Oltre alla potabilizzazione, sono fondamentali il lavaggio accurato di frutta e verdura e la corretta igiene delle mani per evitare l'ingestione del batterio.

La corretta gestione dei processi di potabilizzazione, che combinano metodi fisici (filtrazione) e chimici (disinfezione), è cruciale per la totale inattivazione della Salmonella. (Liu et al., 2018).

Capitolo secondo

SCOPO DEL LAVORO

Come obiettivo, invece, ci siamo posti di:

valutare la prevalenza di *Salmonella* specie, determinarne la frequenza di isolamento e la distribuzione spaziale nella specifica matrice idrica (acque superficiali) nella provincia di Teramo nei 6 anni considerati (2020-2025).

Identificare i fattori di rischio e della stagionalità, se correlati alla presenza di *Salmonella* con le variabili stagionali (es. temperature dell'acqua, regimi di precipitazione) e con le caratteristiche del territorio (es. vicinanza a insediamenti zootecnici o civili).

Studiare il percorso di contaminazione (sorgente ➔ rubinetto) e analizzare se, le eventuali positività nei corpi idrici naturali (acque superficiali o sotterranee utilizzate come fonti di approvvigionamento), si riflettono sulla qualità dell'acqua erogata, per mappare la vulnerabilità della filiera idrica locale.

In questo contesto, l'analisi di uno storico di sei anni si rivela fondamentale: permette di superare la frammentarietà dei controlli estemporanei, tracciando un profilo epidemiologico e ambientale

robusto. L'obiettivo principale dello studio è dunque mappare la circolazione di Salmonella specie nelle acque superficiali.

Questo lavoro di tesi vuole comprendere quale grande impatto per la salute pubblica e l'epidemiologia territoriale, abbia il ritrovamento del batterio Salmonella nel territorio teramano.

Ricordiamo brevemente che la Salmonella è un genere di batteri ad origine prevalentemente fecale (spesso legata ad allevamenti zootecnici, fauna selvatica o scarichi civili). In questo studio, sono stati indagati 6 anni di report e di campionamenti nella provincia di Teramo, (dal 2020 al 2025), un territorio vasto, che va dalle vette del Gran Sasso fino alla costa adriatica, ricco di attività agricole, zootecniche e centri urbani, e che ci permette di fare un'analisi di vulnerabilità ambientale ad ampio spettro. (Liu et al., 2018; Rocha et al., 2022).

Ci siamo concentrati su tale batterio, la *Salmonella* appunto, e non su altri ad esempio, proprio per la sua particolare rilevanza sulla salute pubblica.

La *Salmonella* infatti:

è uno dei principali agenti eziologici di infezioni dovute a trasmissione idrica o alimentare (idroveicolate) e la sua presenza nell'acqua destinata al consumo umano (in rete) è vietata per legge (limite rigoroso di 0

UFC/100ml secondo il D.Lgs. 18/2023), poiché rappresenta un rischio immediato per la popolazione; si sottolinea come la provincia di Teramo abbia una forte vocazione agricola e zootecnica (allevamenti di avicoli, suini e bovini nella fascia collinare e nelle valli dei fiumi come il Tordino, il Vomano o il Vibrata), in cui il dilavamento dei terreni concimati, la gestione dei reflui zootecnici e la fauna selvatica sono le vie principali attraverso cui il batterio può contaminare le acque superficiali e, per infiltrazione, le falde sotterranee. (Liu et al., 2018; D.Lgs. 18/2023).

Spesso da contaminazione intermittente: ecco per cui si rende necessario un monitoraggio continuo: la sua presenza è fortemente influenzata da eventi meteorologici, come ad es. forti piogge dopo periodi di secca che causano il runoff (il "ruscellamento superficiale", ovvero quel fenomeno per cui l'acqua piovana, non riuscendo ad essere assorbita dal terreno o ad evaporare, scorre sulla superficie del suolo, per effetto della gravità, fino a riversarsi nel corso d'acqua più vicino, un fiume, un torrente, o un lago, o a infiltrarsi in tombini e caditoie. Il runoff crea proprio dei picchi di contaminazione intermittenti). (Haley et al., 2009; McEgan et al., 2013).

In estate/secca (basso runoff): se non piove da mesi, non c'è runoff. La *Salmonella* resta confinata nei terreni o negli allevamenti. L'acqua del

fiume potrebbe risultare pulita o contaminata solo da scarichi continui come i depuratori. (Haley et al., 2009; Liu et al., 2018).

Dopo un'alluvione (alto runoff): il fiume riceve una quantità enorme di acqua di ruscellamento. Se facciamo un prelievo in quel determinato momento, è altamente probabile trovare picchi di *Salmonella* e una forte torbidità dell'acqua. (Haley et al., 2009; McEgan et al., 2013).

Da notare che se riscontriamo la *Salmonella* nei fiumi, soprattutto in corrispondenza di mesi molto piovosi, la causa principale sarà attribuibile proprio al runoff. (Haley et al., 2009; McEgan et al., 2013).

Solo un'analisi ampia ed estesa su 6 anni, (che appunto indagheremo con questo lavoro di tesi), ci permetterà di capire se le positività riscontrate sono episodi isolati o se esistono criticità strutturali sul territorio.

Questa dunque è la motivazione di questo studio.

Capitolo terzo

MATERIALI E METODI

3.1 NORMATIVE DI RIFERIMENTO NEL METODO DI CAMPIONAMENTO

3.1.1 Rapporti ISTISAN 07/31 ai sensi del D.Lgs 31/2001

I Rapporti ISTISAN 07/31, elaborati dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS), rappresentano un documento tecnico-scientifico di riferimento per l'applicazione del Decreto Legislativo 31/2001, che recepisce la Direttiva Europea sulla qualità delle acque destinate al consumo umano. (Istituto Superiore di Sanità, 2007).

Il rapporto ha lo scopo di fornire linee guida operative e criteri interpretativi a supporto delle autorità sanitarie e dei gestori del servizio idrico.

Il D.Lgs 31/2001 stabilisce che l'acqua destinata al consumo umano debba essere: salubre e pulita, priva di microrganismi e sostanze nocive e conforme a specifici parametri microbiologici, chimici e indicatori. (D.Lgs. 31/2001; oggi D.Lgs. 18/2023).

Il decreto regolamenta i controlli ufficiali, parla delle responsabilità dei gestori e delle misure da adottare in caso di non conformità.

I Rapporti ISTISAN 07/31 hanno funzione di supporto tecnico al decreto e mirano a uniformare le modalità di controllo e monitoraggio e forniscono indicazioni su campionamento e analisi, ma non hanno valore di legge, poichè costituiscono solo un riferimento scientifico autorevole per l'applicazione della normativa.

L'applicazione delle indicazioni contenute nei Rapporti ISTISAN 07/31 consente di: prevenire malattie trasmesse per via idrica, garantire un elevato livello di protezione della salute pubblica e migliorare la qualità complessiva del servizio idrico.

Questi Rapporti, per tanto, rappresentano uno strumento fondamentale per l'attuazione efficace del D.Lgs 31/2001, contribuendo a garantire che l'acqua destinata al consumo umano sia conforme agli standard di sicurezza e qualità richiesti.

3.1.2 Limiti di legge (D.Lgs. 18/2023).

La normativa stabilisce valori massimi di concentrazione, per sostanze e parametri, che l'acqua deve rispettare per essere considerata potabile. Il

superamento di anche uno solo di questi limiti comporta la non potabilità dell'acqua. (D.Lgs. 18/2023).

Parametri microbiologici (obbligatori) (presi in esame nel nostro studio): questi valori devono essere zero o al di sotto di soglie minime per tutelare la salute:

Escherichia coli ≤ 0 UFC/100 ml (D.Lgs. 18/2023).

Enterococchi intestinali ≤ 0 UFC/100 ml (D.Lgs. 18/2023).

Coliformi totali ≤ 0 UFC/100 ml (*UFC = Unità Formanti Colonia*) (D.Lgs. 18/2023).

La normativa include anche altri parametri microbiologici di controllo per verificare l'assenza di agenti patogeni.

Parametri chimici (tossici o indesiderabili) (con limiti imposti dall'allegato I, non trattati in questo studio).

Parametri fisico-chimici indicatori (servono a controllare caratteristiche organolettiche e chimico-fisiche dell'acqua, anch'essi non presi in considerazione in questo lavoro).

Tutti i parametri di salute (microbiologici e chimici) devono rispettare i limiti massimi stabiliti dalla legge per garantire che l'acqua sia considerata potabile e sicura per il consumo umano. I valori di alcuni parametri non

direttamente legati alla salute (come durezza o residuo fisso), sono spesso indicati come valori consigliati o indicatori, piuttosto che come limiti di salute.

3.2 ORGANO CAMPIONATORE: IL SIAN DI TERAMO

3.2.1 L'Ente

Il SIAN (Servizio Igiene degli Alimenti e Nutrizione) è una struttura operativa delle ASL, parte del Dipartimento di Prevenzione, che garantisce la sicurezza alimentare e la tutela della Salute Pubblica. Monitora l'intera filiera produttiva (non animale) "dal campo alla tavola", controlla le acque, gestisce la vigilanza sui fitosanitari e promuove la nutrizione corretta.

Le attività principali del SIAN includono:

Sicurezza alimentare: Controllo ufficiale sulle imprese alimentari (produzione, ristorazione, mense) per prevenire contaminazioni.

Igiene e nutrizione: Sorveglianza nutrizionale per la prevenzione dell'obesità ed educazione alimentare nella popolazione.

Controllo fitosanitari: Vigilanza sull'uso di pesticidi in agricoltura e sui residui negli alimenti.

Ispezione micologica: Certificazione della commestibilità dei funghi.

Formazione: Corsi per Operatori del Settore Alimentare (OSA).

Il SIAN opera, sulla base di programmi nazionali, regionali, aziendali, e con finalità di prevenzione collettiva, nelle aree funzionali correlate all'alimentazione umana. L'ambito di competenza dei *controlli ufficiali* comprende inoltre i *materiali e gli oggetti destinati a venire a contatto con gli alimenti* (MOCA), i materiali destinati a venire a contatto con l'acqua destinata al consumo umano, ed i prodotti fitosanitari nel loro intero ciclo di vita.

Per adempiere alle attività sopra indicate il Servizio gestisce, per il proprio territorio di competenza e per conto dell'ASL, l'anagrafe degli stabilimenti alimentari e degli stabilimenti ove si producono e vendono i prodotti fitosanitari, nonché degli stabilimenti ove si producono materiali destinati a venire a contatto con gli alimenti. L'anagrafe è alimentata dalle notifiche presentate, in ottemperanza agli obblighi regolamentari di competenza, dagli operatori del settore alimentare e dagli operatori economici al momento di inizio delle attività.

Per la parte informativa specifica della stesura di suddetto lavoro di tesi, la sottoscritta è stata affiancata direttamente dal Direttore del SIAN di Teramo,

il Dott. Di Gialleonardo Francesco. I campioni prelevati dal SIAN vengono inviati all'ARTA Abruzzo, che esegue le analisi microbiologiche per la ricerca di Salmonella (e degli altri microrganismi citati in precedenza). In caso di positività, gli isolati batterici vengono trasmessi all'Istituto Zooprofilattico Sperimentale dell'Abruzzo e del Molise per la tipizzazione sierologica. I risultati della tipizzazione verranno successivamente comunicati al SIAN, consentendo di integrare i dati analitici e di classificare i campioni positivi in base ai sierotipi identificati.

3.2.2 Report, Comuni controllati e luoghi di prelievo

Come Ente prelevatore, il SIAN ogni anno pubblica i suoi report nel sito aslteramo.it, alla voce "Amministrazione trasparente", nella sotto-tendina "Informazioni Ambientali". E' stato creato questo archivio digitale nel 2020, dove vengono riportate le indagini per "Acqua Destinata al Consumo Umano", con i Comuni interessati; in questo lavoro di tesi le mie ricerche si sono basate sugli anni dal 2020 al 2025 i cui report sono

completi, mentre l'anno 2026 è ancora in corso e non è stato preso in considerazione.

Per ogni anno, troveremo 3 voci distinte:

"Risultati Monitoraggi Eseguiti nelle Acque Superficiali"

"Risultati Monitoraggi Eseguiti nelle Acque Sorgenti"

"Risultati Monitoraggi Eseguiti nelle Acque In Rete".

L'archivio dei campionamenti di acque superficiali del periodo 2020–2025 comprende nove comuni del Teramano. Il confronto degli esiti microbiologici riguarda gli otto comuni elencati di seguito; (il Comune di Crognaleto è rappresentato da un referto con sole analisi chimiche, come precisato nel paragrafo 4.5):

Castelli, Fano Adriano, Isola del Gran Sasso d'Italia, Montorio al Vomano, Mosciano Sant'Angelo, Teramo, Torricella Sicura e Tossicia. Il database preliminare comprende 493 campioni con esito Salmonella classificabile, di cui 50 positivi e 443 negativi.

Circa le Acque sorgenti o sotterranee, esse vengono campionate nel solo Comune di Isola del Gran Sasso in due punti:

- Cassetta ingresso Lab. INFN Casale San Nicola
- Cassetta di sbarramento DX-SX Casale di San Nicola

Le Acque in rete, sono state campionate nei fontanini pubblici dei 25 Comuni distinti riportati nell'elenco: Tortoreto, Pineto, Castellalto, Montorio al Vomano, Silvi, Isola del Gran Sasso, Teramo, Giulianova, Martinsicuro, Roseto, Alba Adriatica, Colledara, Torricella, Civitella, Sant'Omero, Morro D'Oro, Rocca Santa Maria, Corropoli, Cortino, Torano, Sant'Egidio alla Vibrata, Ancarano, Valle Castellana, Basciano, Arsita.

Per le acque superficiali i luoghi di prelievo erano:

Ingresso potabilizzatore Piane di Collevecchio (Montorio Al Vomano)

Presa del potabilizzatore VENAQUILA (Montorio Al Vomano)

Presa ENEL Lago Piaganini (Fano Adriano)

Presa Lago Piaganini (Fano Adriano)

ALL COOP (Mosciano Sant'Angelo)

Canale Gronda ENEL Casale San Nicola Fonte Nera (Isola Del Gran Sasso)

3.3 ENTE DI ANALISI E MONITORAGGIO: ARPA ABRUZZO

3.3.1 L'Agenzia

Nel Febbraio 2025 con Legge regionale, l'Arta Abruzzo, Agenzia Regionale per la Tutela dell'Ambiente, cambia nome e diventa Arpa, Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale.

L'Arpa insieme all'istituzione dell'ANPA, (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente), provvede alla riorganizzazione dei controlli ambientali. La sua attività di prevenzione, protezione e tutela ambientale le viene affidata direttamente dall'Asl. Suddetta Agenzia, ha analizzato nel solo anno 2025 per l'Asl di Teramo un totale di 599 campionamenti (totali fra acque in rete, superficiali e sorgenti) nella Provincia.

3.3.2 Il Campionamento

Il Decreto Legislativo 18/2023 (a sostituzione del precedente D.Lgs 31/2001), ha recepito nell'ordinamento italiano la Direttiva (UE) 2020/2184 riguardante la qualità delle acque destinate al consumo umano, per tanto, in Italia, suddetto Decreto rappresenta la norma per le acque potabili: nella sezione "allegati", possiamo apprendere i limiti di legge imposti.

Invece, le “acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile” (acque superficiali provenienti da fiumi e laghi) sono trattate nella parte terza (che riguarda la tutela delle acque dall’inquinamento), allegato 2 (contiene i metodi di analisi), tabella 3/A (elenca nel dettaglio i parametri microbiologici e i relativi metodi) del Decreto 152/2006 TUA -Testo Unico Ambientale- (testo che stabilisce quali metodi analitici devono essere usati ufficialmente per controllare la qualità delle acque), ivi si apprende la classificazione dei corpi idrici, da potabilizzare, divisi in tre gruppi: A1, A2 e A3, classificazione in base alla qualità dell’acqua (A1 è l’acqua con qualità superiore e migliore, che non ha bisogno di trattamenti spinti, ma sono sufficienti interventi più blandi).

Riguardo alla nostra particolare realtà abruzzese, circa le acque potabili provenienti dalla falda sotterranea situata dal di sotto del Gran Sasso (il massiccio montuoso più alto degli Appennini e dell'Italia peninsulare, situato interamente in Abruzzo, nella dorsale più orientale dell'Appennino abruzzese, al confine fra le province dell'Aquila, di Teramo e di Pescara), ci sono diversi parametri microbiologici da valutare, tra cui: E. Coli, Enterococchi, Coliformi Totali e conta delle colonie a 22°C.

L’acqua che verrà messa in rete, l’acqua del potabilizzatore appunto, oltre alle quattro analisi microbiologiche precedentemente citate, e quindi, obbligatorie per legge, sarà testata anche per Clostridio perfringens e per Salmonella.

La ricerca della Salmonella avverrà “prima” del trattamento, al fiume, per classificare se le acque rientrano nella categoria A1, A2 o se sono A3, e dopo verrà ricercata anche nell’acqua potabile.

Per la ricerca di Salmonella, le analisi microbiologiche sono eseguite o con la tecnica dell’arricchimento in brodo di coltura delle membrane filtranti (metodica basata su presenza/assenza di Salmonella), o con la tecnica MPN “most probable number” (la procedura si basa su un sistema MPN miniaturizzato in piastra a 48 pozzetti con terreno Modified semi-solid Rappaport Vassiliadis -MSRV-) o attraverso analisi qualitative.

La procedura per la ricerca di Salmonella, adottata dall’ARTA Abruzzo secondo quanto descritto nella Tabella 3/A D.Lgs TUA 152/2006, è rappresentata dalla tecnica per “filtrazione su membrana”; fra quelli proposti, questo risulta essere il metodo analitico ufficiale adottato, validato e normato.

Salmonella sarà fatta crescere su un terreno di arricchimento non selettivo, per prova presuntiva, il BUFFERED PEPTONE WATER: si utilizzerà una membrana permeabile con pori del diametro di 0,45 μm operando in sottovuoto. Il nostro campione iniziale è costituito da 1 litro (o 5 Litri) di soluzione, verrà mescolato e frazionato in quattro aliquote (si utilizzeranno 4 filtri per ogni 250 ml di acqua).

Dopo la filtrazione, le membrane verranno trasferite, attraverso l'uso di pinzette sterilizzate al Becco Bunsen, nel sopracitato brodo non selettivo, ma di pre-arricchimento, e il tutto sarà posto a 36-37°C in termostato: i batteri contenuti nell'acqua cresceranno in colonie sulla superficie della membrana.

L'acqua peptonata iniziale permetterà la crescita di una grande varietà di batteri, essendo generica, tuttavia, dopo 24h, si passerà alla semina delle aliquote da questa brodocoltura, su altri due terreni selettivi liquidi: 1 mL di acqua peptonata sarà trasferito in Brodo Selenite, in provetta, ed un ulteriore 1 mL sarà trasferito in un'altra provetta con Müller-Kauffman.

Entrambe le provette andranno poste a 44°C per 24h.

Trascorso suddetto tempo, si preleverà un'ansata e verranno eseguite subcolture su terreno solido: dal campione in Müller-Kaufman si preleverà

un’ansata, di cui una parte (1 mL) verrà piastrato su SS-Agar e un’altra parte (1 mL) su Hektoen Enteric Agar (HEA), terreno selettivo e differenziale, che permette di isolare batteri patogeni intestinali, portando a distinguere i fermentatori di zuccheri dai non fermentatori, ed evidenziando, inoltre, la produzione di H_2S tipica di Salmonella.

Dal terreno in Brodo Selenite, invece, un’ansata andrà su SS-Agar e un’altra ansata su Hektoen Enteric Agar. Queste operazioni, verranno ripetute due volte, per i due giorni successivi.

Queste quattro piastre saranno lasciate in termostato a 37°C per 24h e analizzate visivamente, allo scadere del termine, per ricercare colonie nere con leggero alone bianco-trasparente, indice di probabile crescita di Salmonella.

In presenza di positività, verranno prelevate le colonie più isolate e testate: sarà versato, al di sopra di tali colonie sospette, una goccia del Reagente Mucap (reattivo sensibile e specifico per l’identificazione di Salmonella spp. per presunta appartenenza al genere Salmonella) sulla piastra di primo isolamento, si attenderà 10 minuti e poi si osserverà sotto lampada a fluorescenza (UV). Le colonie “potenzialmente” riferibili a Salmonella, appariranno fluorescenti e di colore blu. Per confermare tale sospetto, si

eseguirà un ulteriore test biochimico come prova di conferma: “l’Entero Pluri Test”, in cui si seminerà il campione, ovvero semineremo le stesse colonie sospette su cui è stato fatto il test con il mucap su speciali terreni solidi miniaturizzati costituiti da 12 settori che mostreranno ben 15 reazioni biochimiche, all’interno di un tubo in cui si semina con un ago, che permette la crescita sia in aerobiosi che in anaerobiosi, e poi si metterà ad incubare a 37°C per altre 24h. Si leggeranno i risultati attribuendo un codice numerico al viraggio dei colori, (ad ogni positività si contrassegna il numero corrispondente e poi si eseguirà la somma: si otterrà un codice numerico a 5 cifre) che verrà codificato attraverso una legenda dell’interpretazione delle reazioni biochimiche allegata al kit fornito dalla Liofilchem, che indirizzerà all’identificazione del batterio.

3.4 Archivio dei dati e unità di osservazione

Nel presente studio il riferimento, come è stato già menzionato, è costituito dai rapporti di prova relativi ai campionamenti del periodo 2020–2025. L’unità di osservazione è il singolo campione, identificato dalla data e dal punto di prelievo. Le conclusioni riguardano pertanto i siti e i periodi effettivamente rappresentati nell’archivio: non descrivono

automaticamente lo stato di tutti i corpi idrici provinciali. La distribuzione delle positività e i confronti tra siti sono approfonditi nei capitoli 4 e 5.

3.5 Selezione e descrizione dei siti dei casi studio

Nel presente lavoro i casi studio sono stati selezionati all'interno del territorio della provincia di Teramo, in coerenza con l'origine dei campioni analizzati e con l'obiettivo di interpretare la presenza di Salmonella nelle acque superficiali alla luce delle caratteristiche locali dei siti. L'analisi non è finalizzata ad attribuire la contaminazione a una specifica attività antropica, ma a verificare se differenti contesti idrologici e territoriali possano essere associati a differenti modalità di comparsa del microrganismo.

La scelta è ricaduta in particolare su Fonte Nera, nel territorio di Isola del Gran Sasso d'Italia, e sul punto denominato "Presa ALL COOP", riferito allo stabilimento di Mosciano Sant'Angelo. I due siti sono risultati di particolare interesse perché, pur presentando entrambi una frequenza di positività di Salmonella superiore a quella osservata in altri punti, mostrano un comportamento differente rispetto alle precipitazioni antecedenti.

Fonte Nera è inserita nel sistema del Canale di Gronda Ruzzo–Mavone, in ambiente montano a circa 1.000 m di quota. La documentazione di Ruzzo Reti indica che il canale di gronda ENEL in località Fonte Nera raccoglie acque di affluenti importanti, tra cui il Ruzzo e il Mavone, e che tali acque sono state considerate come possibile risorsa per il potabilizzatore di Casale San Nicola (Ruzzo Reti, 2024). La documentazione del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga conferma inoltre l'esistenza di un sistema costituito dal Canale di Gronda Ruzzo–Mavone e da relative opere di presa, oggetto di interventi di ripristino funzionale (PNGSL, 2026).

Il secondo caso riguarda la "Presa ALL COOP". Un atto della ASL di Teramo del 2017 documenta una richiesta ALL COOP relativa alla classificazione delle acque superficiali del bacino idrico a monte della traversa di Villa Vomano, realizzata e gestita dal Consorzio di Bonifica Nord, ai sensi del D.Lgs. 152/2006 (ASL Teramo, 2017). Questo dato è particolarmente rilevante perché suggerisce che l'approvvigionamento superficiale collegato allo stabilimento debba essere interpretato nel contesto del sistema del Vomano e della rete del consorzio, e non

semplicemente come acqua proveniente dall'area immediatamente adiacente allo stabilimento di Mosciano Sant'Angelo.

Sulla base delle informazioni raccolte nel corso del presente studio, il campionamento denominato ALL COOP viene effettuato prima dello stabilimento. Il punto di presa è stato geolocalizzato alle coordinate 42.704910 N, 13.913277 E, lungo la SP22a nell'area di Notaresco–Mosciano Sant'Angelo. La collocazione "prima dello stabilimento" deriva dall'informazione fornita dal personale tecnico addetto al campionamento e viene qui assunta come dato operativo per l'interpretazione del caso studio. Di conseguenza, le positività osservate nel punto di presa non possono essere attribuite agli scarichi dello stabilimento sulla sola base della prossimità geografica. In assenza di una ricostruzione idrologica dettagliata del bacino a monte, non è invece possibile attribuire la contaminazione a singoli scarichi, allevamenti o altre pressioni puntuali specifiche.

3.6 Elenco utilizzato per l'analisi descrittiva dei sierotipi

L'analisi descrittiva è stata condotta sull'elenco di 50 campioni positivi nel periodo 2020–2025.

3.7 Fonti documentali utilizzate per il caso studio

ASL Teramo (2017). Delibera n. 710 del 12/06/2017: classificazione delle acque superficiali del bacino idrico a monte della traversa di Villa Vomano; istanza ALL.COOP.

Ruzzo Reti S.p.A. (2024). Modello di Organizzazione, Gestione e Controllo – Parte Speciale. Descrizione del potabilizzatore di Casale San Nicola e del Canale di Gronda ENEL in località Fonte Nera.

Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga (2026). Nulla osta relativo al progetto di ripristino funzionale del Canale di Gronda Ruzzo–Mavone e delle opere di presa dissestate.

Consorzio di Bonifica Nord – Bacino del Tronto, Tordino e Vomano. Documentazione istituzionale relativa alla gestione del sistema del Vomano e della traversa di Villa Vomano.

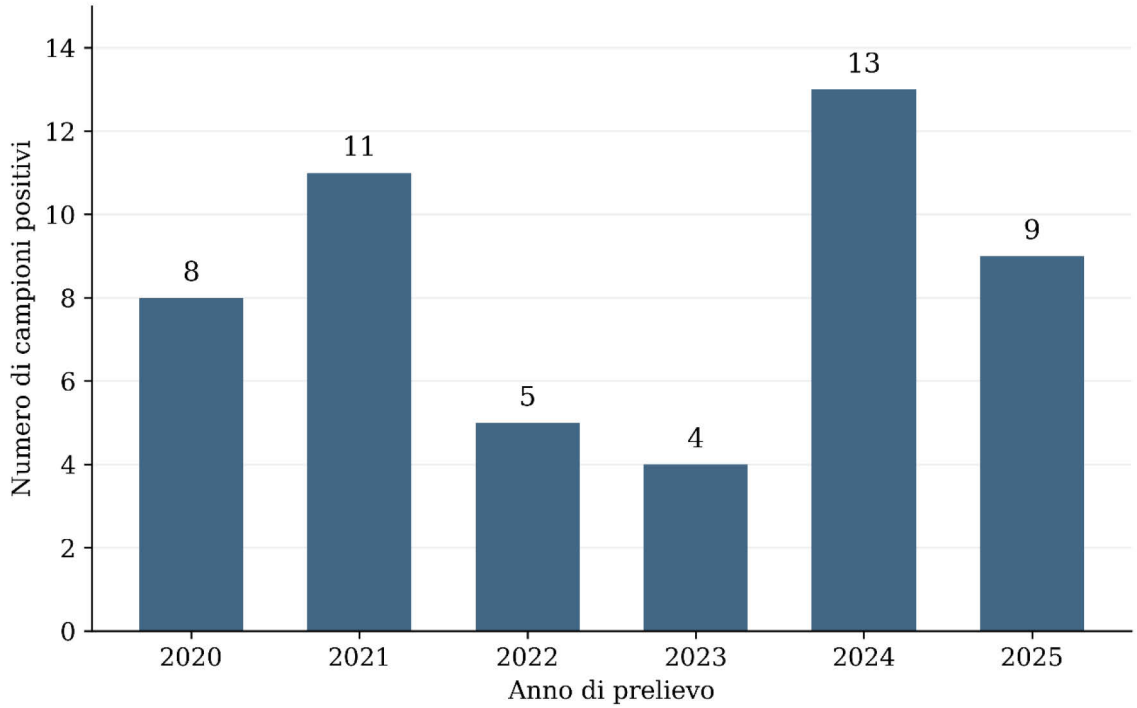
Database del presente studio: campionamenti SIAN/ARTA 2020–2025 e analisi meteorologiche ArCIS.

Capitolo quarto

RISULTATI

4.1 Analisi dei dati ARPA del database preliminare

Il database preliminare 2020–2025 utilizzato per queste elaborazioni comprende 493 campionamenti con esito Salmonella classificabile, di cui 50 positivi e 443 negativi, corrispondenti a una positività complessiva del 10,1%.



Sebbene siano sei i principali siti di prelievo considerati, (Presa Mavone è riportata nell'analisi descrittiva generale, ma non nel confronto statistico

tra i cinque siti principali, poiché nel database utilizzato per tale confronto è rappresentata da un solo campione con esito per Salmonella, risultato positivo), in questo lavoro di tesi né considereremo per tanto solo i cinque principali, e solo nominalmente includeremo anche il sesto "presa Mavone". Nel periodo 2020–2025, l'elenco aggiornato comprende 50 campioni positivi a *Salmonella* spp., distribuiti in sei punti di prelievo: Collevecchio con 16 positivi (32% del totale), ALL COOP con 10 (20%), Fonte Nera con 9 (18%), Lago Piaganini con 8 (16%), Venaquila con 6 (12%) e Presa Mavone con 1 (2%). Queste percentuali descrivono la distribuzione dei campioni positivi tra i siti e non la percentuale di positività sul totale dei campioni analizzati in ciascun punto.

Punto di prelievo	Campioni positivi	Quota sui 50 positivi
Collevecchio	16	32%
ALL COOP	10	20%
Fonte Nera	9	18%
Lago Piaganini	8	16%
Venaquila	6	12%
Presa Mavone	1	2%
Totale	**50**	**100%**

Periodo 2020–2025. Percentuali calcolate sui 50 campioni positivi complessivi.
Non rappresentano la percentuale di positività tra tutti i campioni analizzati per sito.

L’analisi dei dati meteorologici ha evidenziato un’ulteriore differenza. Nel punto ALL COOP, la presenza di almeno 10 mm di pioggia cumulata nei sette giorni precedenti il prelievo, era associata ad una maggiore probabilità di trovare Salmonella: circa 5,4 volte superiore rispetto ai periodi con meno pioggia. Questo risultato è statisticamente significativo ma deve essere considerato con cautela, poiché si tratta comunque di una analisi esplorativa, in quanto il dato va approfondito con altri studi ed un campione più ampio.

La serie storica del punto ALL COOP mostra inoltre un carattere ricorrente ma discontinuo delle positività. Nel periodo 2020–2025 sono state documentate positività in anni differenti, intervallate da numerosi campioni negativi. Questo andamento non è compatibile con una presenza costante del microrganismo e suggerisce piuttosto episodi intermittenti di contaminazione, potenzialmente modulati da condizioni ambientali e idrologiche variabili.

ALL COOP — campioni positivi a Salmonella spp. (2020-2025)

Anno	Positivi	Date di prelievo dei campioni positivi
2020	3	12 maggio; 9 giugno; 14 ottobre
2021	4	19 gennaio; 13 aprile; 20 luglio; 6 dicembre
2022	1	14 giugno
2023	0	Nessun positivo nell'elenco
2024	2	27 agosto; 24 settembre
2025	0	Nessun positivo nell'elenco
Totale	**10**	

Anche gli indicatori di contaminazione fecale supportano una lettura prudente. In diversi campioni positivi erano presenti cariche elevate di coliformi totali, coliformi fecali e streptococchi fecali; tuttavia, nel sito sono stati osservati anche campioni Salmonella-negativi con valori elevati degli stessi indicatori. Gli indicatori fecali segnalano una contaminazione di origine fecale e aiutano a valutare il rischio, ma non permettono di stabilire con certezza se Salmonella sia presente o assente.

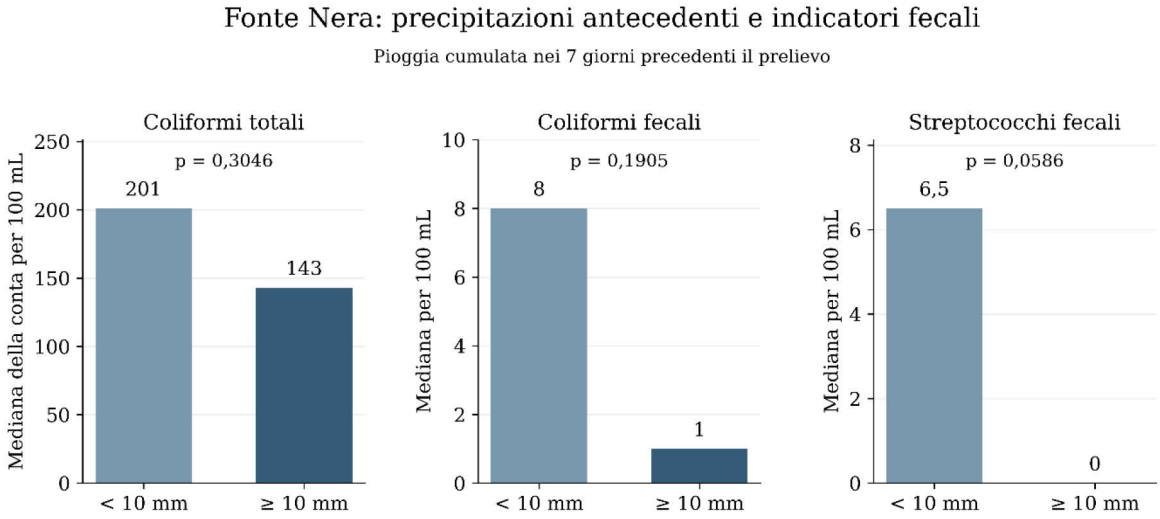
Indicatori fecali nei 50 campioni positivi a Salmonella spp. — 2020-2025

Rapporto	Data	Punto di prelievo	Salmonella	Coliformi totali	Coliformi fecali	Streptococchi fecali	E. coli
TE/003782/20	20/04/2020	Collevecchio	Presente	187	2	3	7218
TE/004307/20	12/05/2020	ALL COOP	Presente	921	73	73	7218
TE/005246/20	09/06/2020	ALL COOP	Presente	276	46	11	ND
TE/006124/20	29/06/2020	Collevecchio	Presente	249	52	3	ND
TE/007937/20	04/08/2020	Venaquila	Presente	107	13	ND	7218
TE/009805/20	14/09/2020	Collevecchio	Presente	185	35	ND	ND
TE/011104/20	14/10/2020	ALL COOP	Presente	1047	133	ND	ND
TE/013089/20	30/11/2020	Collevecchio	Presente	2419	1120	770	ND
TE/000449/21	19/01/2021	ALL COOP	Presente	236	81	13	ND
TE/003625/21	07/04/2021	Collevecchio	Presente	ND	ND	ND	ND
TE/003811/21	13/04/2021	Venaquila	Presente	613	140	16	ND
TE/003803/21	13/04/2021	ALL COOP	Presente	299	126	12	ND
TE/008899/21	20/07/2021	Fonte Nera	Presente	326	23	23	ND
TE/008908/21	20/07/2021	Lago Piaganini	Presente	613	152	44	ND
TE/008892/21	20/07/2021	ALL COOP	Presente	1120	276	77	ND
TE/009427/21	02/08/2021	Collevecchio	Presente	137	8	3	ND
TE/009511/21	03/08/2021	Fonte Nera	Presente	388	15	10	ND
TE/013593/21	08/11/2021	Collevecchio	Presente	12030	3700	1046	ND
TE/014762/21	06/12/2021	ALL COOP	Presente	2420	517	118	ND
TE/005980/22	14/06/2022	Lago Piaganini	Presente	84	11	1	ND
TE/005974/22	14/06/2022	ALL COOP	Presente	2420	328	33	ND
TE/006259/22	20/06/2022	Collevecchio	Presente	1733	261	115	ND
TE/009186/22	06/09/2022	Fonte Nera	Presente	548	10	9	ND
TE/010508/22	11/10/2022	Lago Piaganini	Presente	276	21	8	ND
TE/007863/23	01/08/2023	Fonte Nera	Presente	411	54	41	ND
TE/009333/23	12/09/2023	Lago Piaganini	Presente	>2420	495	355	ND
TE/009331/23	12/09/2023	Fonte Nera	Presente	2247	10	10	ND
TE/010708/23	17/10/2023	Fonte Nera	Presente	101	8	8	ND
TE/000084/24	08/01/2024	Venaquila	Presente	2420	1414	727	ND
TE/002246/24	12/03/2024	Presa Mavone	Presente	2420	1553	345	ND
TE/006464/24	08/07/2024	Collevecchio	Presente	81	12	0	ND
TE/008129/24	19/08/2024	Collevecchio	Presente	2247	548	147	ND
TE/008132/24	19/08/2024	Fonte Nera	Presente	2909	21	21	ND
TE/008176/24	20/08/2024	Lago Piaganini	Presente	3448	649	73	ND
TE/008359/24	27/08/2024	ALL COOP	Presente	1553	345	210	ND
TE/009326/24	24/09/2024	ALL COOP	Presente	770	411	89	ND
TE/009333/24	24/09/2024	Lago Piaganini	Presente	307	64	5	ND
TE/010458/24	21/10/2024	Collevecchio	Presente	17000	1733	1733	ND
TE/010483/24	22/10/2024	Fonte Nera	Presente	980	<1	2	ND
TE/010484/24	22/10/2024	Venaquila	Presente	>2420	687	345	ND
TE/010485/24	22/10/2024	Lago Piaganini	Presente	>2420	517	141	ND
TE/003419/25	15/04/2025	Venaquila	Presente	ND	ND	ND	ND
TE/003786/25	28/04/2025	Collevecchio	Presente	ND	ND	ND	ND
TE/004471/25	15/05/2025	Collevecchio	Presente	ND	ND	ND	ND
TE/006015/25	24/06/2025	Lago Piaganini	Presente	ND	ND	ND	ND
TE/006528/25	07/07/2025	Collevecchio	Presente	ND	ND	ND	ND
TE/006820/25	14/07/2025	Collevecchio	Presente	ND	ND	ND	ND
TE/007555/25	04/08/2025	Collevecchio	Presente	ND	ND	ND	ND
TE/009196/25	16/09/2025	Fonte Nera	Presente	ND	ND	ND	ND
TE/009276/25	17/09/2025	Venaquila	Presente	ND	ND	ND	ND

L’unità di misura dei microrganismi è UFC/100 ml.
ND: dato non disponibile, non zero.

Fonte Nera mostrava invece un comportamento opposto: nonostante la maggiore percentuale di positività, la soglia di 10 mm non risultava associata a un incremento della probabilità di Salmonella. Anche gli

indicatori di contaminazione fecale non mostravano nel sito un aumento significativo dopo la pioggia. Questo dato distingue Fonte Nera dagli altri principali punti e suggerisce che le precipitazioni misurate localmente non rappresentino il principale fattore associato alla comparsa di Salmonella in questo sistema.



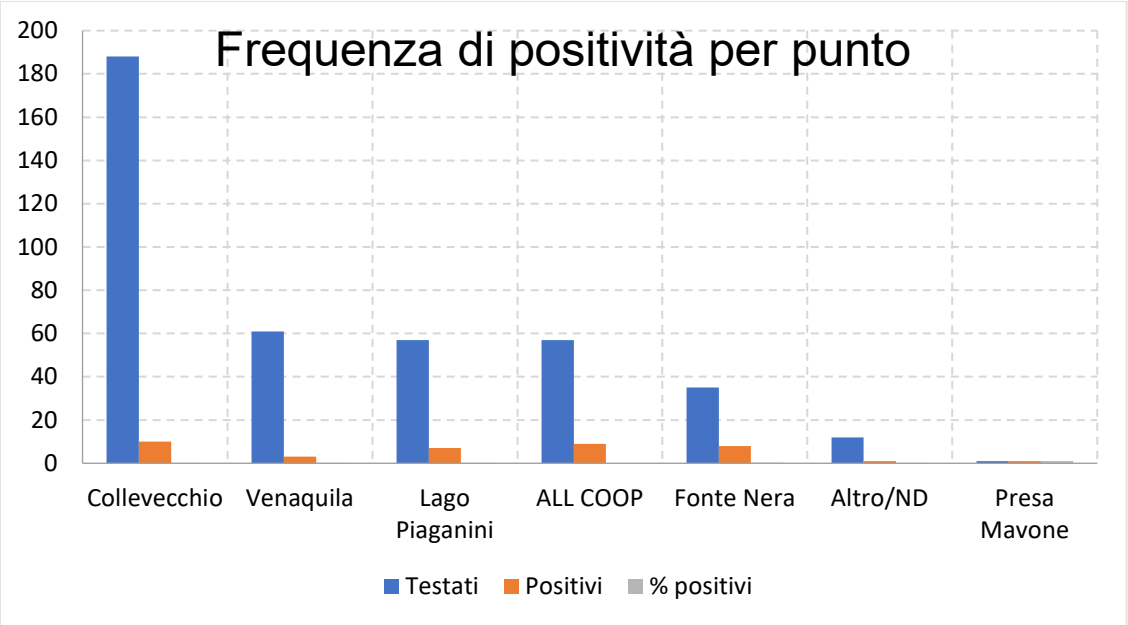
Nel complesso dei campioni, invece, la pioggia antecedente risultava associata all'aumento degli indicatori microbiologici: con almeno 10 mm nei sette giorni precedenti, la mediana dei coliformi totali passava da 266,5 a 579, quella dei coliformi fecali da 42,5 a 115 e quella degli streptococchi fecali da 10 a 19. Si può affermare che coliformi totali e streptococchi fecali mantengano un'associazione indipendente con Salmonella, mentre

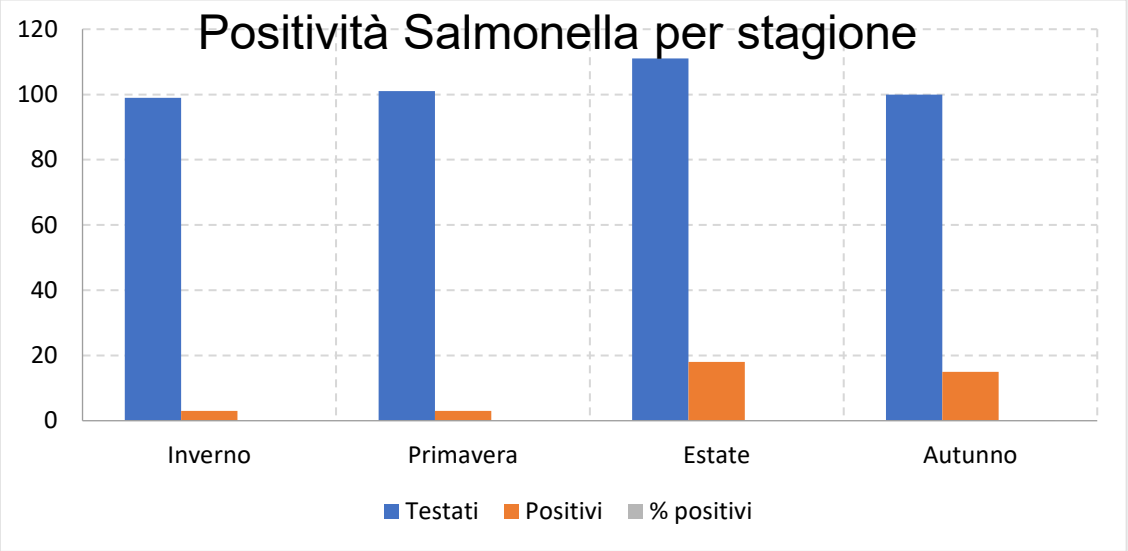
l’effetto della pioggia si attenuava. Tale risultato è compatibile con l’ipotesi che parte dell’associazione meteorologica possa essere condivisa con l’aumento della contaminazione fecale, senza tuttavia dimostrare un rapporto causale.

Salmonella nelle acque superficiali — database preliminare 2020–2025

Anno	Campionamenti distinti	Con esito Salmonella	Positivi	Negativi	% positivi sui testati
2020	108	84	8	76	9,5%
2021	84	78	9	69	11,5%
2022	100	95	5	90	5,3%
2023	64	62	4	58	6,5%
2024	110	93	13	80	14,0%
2025	100	79	9	70	11,4%

4.2 Andamento temporale e stagionalità



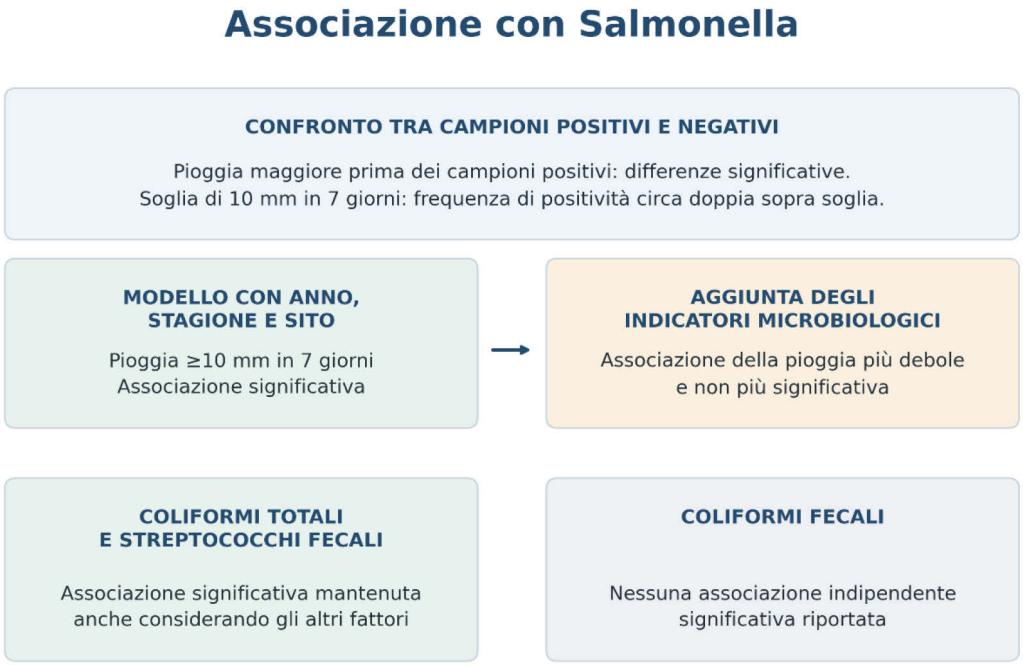


4.3 Precipitazioni antecedenti e indicatori microbiologici

Uno dei risultati principali riguarda l'associazione tra precipitazioni antecedenti e positività a Salmonella. Nell'analisi complessiva, i campioni positivi erano preceduti da quantità di pioggia maggiori rispetto ai negativi, con differenze significative soprattutto per il giorno precedente e per la cumulata dei sette giorni antecedenti per cui Salmonella veniva rilevata più spesso dopo periodi di pioggia. Prima dei campioni positivi aveva piovuto di più rispetto ai campioni negativi, soprattutto nel giorno precedente e nei sette giorni prima del prelievo. Queste differenze erano statisticamente significative. Inoltre, quando la pioggia complessiva nei sette giorni precedenti raggiungeva o superava i 10 mm, la percentuale di campioni positivi era circa doppia rispetto a quella osservata con meno di 10 mm di pioggia. Nel confronto tra campioni positivi e negativi, i coliformi totali e gli streptococchi fecali risultavano significativamente più elevati nei campioni Salmonella-positivi, mentre i coliformi fecali non mostravano la stessa associazione indipendente. I modelli statistici hanno mostrato che i coliformi totali e gli streptococchi fecali erano associati alla positività a Salmonella anche tenendo conto dell'anno, della stagione, del sito di campionamento e delle precipitazioni. Questo risultato

suggerisce che tali indicatori contengano informazioni utili sul livello di contaminazione ambientale associato alla presenza di Salmonella.

Quando la precipitazione era ≥10 mm nei sette giorni precedenti (considerando anno, stagione e sito), l'associazione con Salmonella rimaneva significativa. Inserendo però nello stesso modello anche gli indicatori microbiologici, l'effetto della pioggia si attenuava e perdeva la significatività statistica, mentre coliformi totali e streptococchi fecali rimanevano associati alla positività.



A “campione”, in questo lavoro, ho deciso di rappresentare in tabella come approfondimento meteorologico i 13 campioni positivi dell’anno 2024, descrivendo le condizioni meteo prima di ciascun prelievo.

Salmonella e precipitazioni antecedenti

Campioni positivi del 2024 · Sintesi delle condizioni meteorologiche

Data	Punto di prelievo	Pioggia / evidenza	Condizioni nei giorni precedenti
08/01	Venaquila	Sì · Alta	Piogge deboli nelle 24 ore precedenti; rovesci e temporali previsti tra il 7 e l’8 gennaio.
12/03	Presa Mavone	Sì · Alta	Avviso dal 10 marzo, per 24–30 ore: piogge sparse o diffuse, rovesci e temporali.
08/07	Collevecchio	No/debole · Alta	Nessun fenomeno significativo il 5–6 luglio; piogge deboli non rilevanti nelle 24 ore precedenti.
19/08	Collevecchio	Sì · Alta	Piogge localmente moderate il 18 agosto; temporali e piogge tra il 18 e il 19 agosto.
19/08	Fonte Nera	Sì · Alta	Piogge localmente moderate il 18 agosto; temporali e piogge tra il 18 e il 19 agosto.
20/08	Lago Piaganini	Sì · Alta	Maltempo tra il 17 e il 19 agosto; piogge localmente moderate registrate il 18 agosto.
27/08	ALL COOP	Non documentato · Media	Tempo prevalentemente stabile il 24–25 agosto. L’avviso del 27 iniziava in tarda mattinata e non documenta forte pioggia antecedente.
24/09	ALL COOP	Sì · Alta	Piogge e temporali il 23 settembre, con cumulati deboli o localmente moderati, soprattutto sui settori appenninici.
24/09	Lago Piaganini	Sì · Alta	Piogge e temporali il 23 settembre, con cumulati deboli o localmente moderati, soprattutto sui settori appenninici.
21/10	Collevecchio	Sì · Alta	Piogge deboli o localmente moderate registrate il 20 ottobre; ulteriori rovesci e temporali.
22/10	Fonte Nera	Sì · Alta	Fase piovosa documentata il 19–20 ottobre, con piogge deboli o localmente moderate, rovesci e temporali.
22/10	Venaquila	Sì · Alta	Fase piovosa documentata il 19–20 ottobre, con piogge deboli o localmente moderate, rovesci e temporali.
22/10	Lago Piaganini	Sì · Alta	Fase piovosa documentata il 19–20 ottobre, con piogge deboli o localmente moderate, rovesci e temporali.

Pioggia / evidenza: segnale antecedente e livello di evidenza riportati nell’allegato. Fonte: bollettini meteorologici della Regione Abruzzo.

4.4 Distribuzione dei sierotipi nei campioni positivi aggiornati

Dei 50 campioni positivi che sono riuscita ad analizzare, solamente 47 di questi riportano un'indicazione di tipizzazione.

Si può sostenere, in ultima analisi, che Salmonella Veneziana sia sicuramente il sierotipo più frequentemente riportato: compare in 20 campioni su 50 (40%) (o meglio compare in 20 campioni su 47: 42,6%), comprendendo un campione con compresenza di Coeln. È documentato in tutti gli anni dal 2020 al 2025 e in cinque dei sei siti dell'elenco. La distribuzione per sede è: Collevecchio 8/16 positivi; Fonte Nera 5/9; Venaquila 4/6; Lago Piaganini 2/8; ALL COOP 1/10; Presa Mavone 0/1.

Salmonella Veneziana: distribuzione per sito

Sito di prelievo	Positivi a Salmonella	Con Veneziana	% sui positivi del sito
Collevecchio	16	8	50,0%
Fonte Nera	9	5	55,6%
Venaquila	6	4	66,7%
Lago Piaganini	8	2	25,0%
ALL COOP	10	1	10,0%
Presa Mavone	1	0	0,0%
Totale	**50**	**20**	**40,0%**

Campioni con indicazione di tipizzazione	47 su 50
Veneziana tra i campioni con tipizzazione	20 su 47 (42,6%)
Anni con Veneziana documentata	Tutti gli anni dal 2020 al 2025
Siti con Veneziana documentata	5 su 6

Incluso un campione con Veneziana e Coeln. Percentuali per sito calcolate su tutti i positivi.

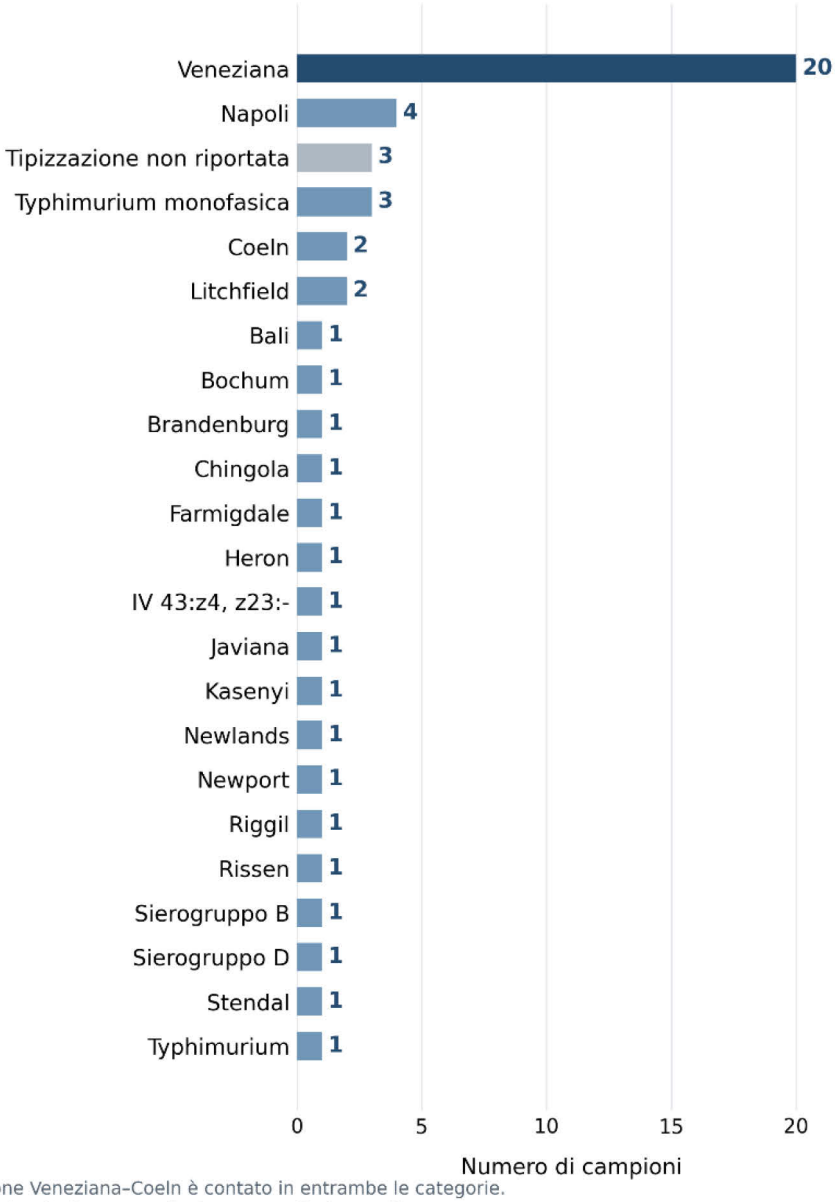
Salmonella Napoli compare in 4 campioni (8%): Lago Piaganini il 14/06/2022, Fonte Nera il 06/09/2022 e il 16/09/2025, Collevecchio l'08/07/2024. La variante monofasica di Tifimurio è riportata in 3 campioni (6%), mentre Tifimurio, senza tale specificazione, compare in un ulteriore campione (2%); le due indicazioni sono mantenute distinte. Litchfield e Coeln compaiono ciascuno in 2 campioni (4%); il conteggio di Coeln include il prelievo con Veneziana. Numerose altre denominazioni sono riportate una sola volta.

Sono presenti coincidenze temporali di interesse: il 20/07/2021 Veneziana è riportata sia a Fonte Nera sia al Lago Piaganini; il 19/08/2024 compare a Collevecchio e a Fonte Nera. Al contrario, il 22/10/2024 sono riportati tre sierotipi differenti nei tre siti campionati: Bochum a Fonte Nera, Veneziana a Venaquila e Newport al Lago Piaganini. Nel punto ALL COOP, Litchfield ricorre il 12/05/2020 e il 09/06/2020, a distanza di 28 giorni.

Presenti anche la Salmonella "Riggil" e "Farmigdale", le sottospecie dal sierotipo "IV 43:z4, z23:- e i sierogruppi B e D.

Tipizzazioni di Salmonella

50 campioni positivi · Periodo 2020–2025



Il campione Veneziana–Coeln è contato in entrambe le categorie.
Le denominazioni sono quelle riportate nell'elenco allegato.

4.5 Distribuzione territoriale dei campioni positivi a Salmonella: precisazioni

La distribuzione dei 50 campioni positivi per sito è riportata nella tabella precedente. Per Castelli, Teramo e Tossicia, l'assenza di positività riguarda esclusivamente i campioni documentati del 2024. Crognaleto, pur essendo rappresentato nell'archivio dei campionamenti di acque superficiali, è stato escluso dal confronto degli esiti microbiologici, poiché il referto disponibile riporta soltanto analisi chimiche e non presenta la voce nei report di "ricerca di Salmonella".

Capitolo quinto

DISCUSSIONE DEI DATI

5.1 Confronto fra le diverse realtà territoriali del teramano

Considerare le diverse realtà del territorio è essenziale per l'interpretazione microbiologica: un campione prelevato a Fonte Nera non deve essere considerato necessariamente rappresentativo della sola area immediatamente circostante, poiché l'acqua presente nel canale può integrare contributi provenienti da più settori a monte. La zona attraversata dal canale presenta inoltre ambienti forestali, radure e aree di pascolo; tali caratteristiche costituiscono potenziali pressioni ambientali, ma non consentono di identificare una specifica sorgente di Salmonella.

Il confronto tra Fonte Nera e ALL COOP consente di descrivere due differenti modelli ambientali di contaminazione. Fonte Nera rappresenta un sistema montano di acque superficiali convogliate. La documentazione tecnica indica infatti che il Canale di Gronda raccoglie apporti da corsi d'acqua del sistema Ruzzo–Mavone; ne consegue che il punto di campionamento può integrare condizioni meteorologiche e microbiologiche verificatesi in un bacino più ampio rispetto alla sola località di prelievo.

Questo potrebbe spiegare perché a Fonte Nera il legame tra pioggia e presenza di Salmonella è debole: la pioggia misurata vicino al punto di prelievo potrebbe essere diversa da quella caduta nelle altre zone da cui proviene l'acqua del canale. Inoltre, Salmonella potrebbe rimanere nei sedimenti del canale oppure arrivare con le feci degli animali selvatici o al pascolo e con l'acqua raccolta dalle diverse prese. Si tratta di possibili spiegazioni, ancora da verificare. Nessuna di queste sorgenti può tuttavia essere identificata come causa sulla base dei dati disponibili.

Nel punto ALL COOP, la presenza di Salmonella sembra essere più legata alla pioggia caduta prima del prelievo. L'associazione osservata con almeno 10 mm di pioggia nei sette giorni precedenti è compatibile con l'ipotesi che la pioggia trascini materiale fecale dai terreni verso l'acqua.

I documenti sulla classificazione delle acque a monte della traversa di Villa Vomano indicano che, per comprendere questi risultati, occorre considerare anche il sistema del fiume Vomano e la rete idrica del consorzio.

Poiché il campionamento avviene prima dello stabilimento ALL COOP, questi risultati non permettono di attribuire la contaminazione agli scarichi dello stabilimento.

Il punto di campionamento è localizzato alle coordinate 42.704910 N, 13.913277 E e secondo i tecnici addetti al monitoraggio, il prelievo viene effettuato prima dello stabilimento. I risultati descrivono quindi la qualità dell'acqua in arrivo: la vicinanza all'impianto non dimostra che sia lo stabilimento a causare la contaminazione.

Per capire il possibile legame con la pioggia, occorre considerare le zone da cui proviene l'acqua e le possibili fonti di contaminazione presenti a monte. Senza prove dirette, non è possibile individuare una fonte specifica.

Il confronto tra i due siti evidenzia pertanto che la presenza di Salmonella nelle acque superficiali del Teramano non segue un unico schema.
Nel sito ALL COOP emerge un segnale compatibile con una contaminazione episodica favorita dagli eventi meteorici; a Fonte Nera emerge invece un'elevata frequenza di positività non spiegata dalla pioggia locale, in un sistema idrologico complesso che integra più apporti. Queste differenze sostengono la necessità di interpretare i risultati di monitoraggio in maniera sito-specifica, combinando dati microbiologici, meteorologici, idrologici e territoriali.

Per ALL COOP, le positività che si ripresentano in modo discontinuo e il possibile legame con la pioggia suggeriscono di continuare a controllare insieme la qualità microbiologica dell'acqua e le precipitazioni. In futuro, sarebbe utile conoscere meglio le zone a monte, l'uso dei terreni e le possibili fonti di contaminazione fecale.

Per Fonte Nera, invece, sarebbe utile individuare le diverse prese che alimentano il Canale di Gronda e confrontare la qualità microbiologica delle acque provenienti da ciascuna. Questo potrebbe aiutare a capire da quali punti provenga la contaminazione.

In conclusione, Fonte Nera e ALL COOP costituiscono due casi studio complementari e particolarmente rappresentativi del territorio teramano. Il primo evidenzia il ruolo della complessità idrologica e della provenienza multipla delle acque; il secondo evidenzia una possibile influenza degli eventi meteorici su un'acqua superficiale destinata all'impiego produttivo.

5.2 Andamento temporale e stagionalità

La distribuzione delle positività non è risultata uniforme nel tempo. Nel periodo 2020–2025 era già evidente una marcata componente stagionale, con una maggiore frequenza di positività in estate e autunno rispetto a inverno e

primavera. Questo andamento è biologicamente plausibile e trova riscontro in diversi studi sulle acque superficiali, nei quali la probabilità di rilevare Salmonella o la sua concentrazione è risultata maggiore nei mesi più caldi. Una revisione sulla persistenza dei patogeni batterici nelle acque superficiali riporta infatti numerosi studi con maggiore frequenza di campioni Salmonella-positivi in estate e autunno; altri lavori evidenziano tuttavia che la stagionalità può modificare soprattutto l'abbondanza o la diversità dei sierotipi, senza produrre necessariamente lo stesso andamento in tutti i bacini.

L'effetto stagionale non deve quindi essere interpretato esclusivamente come conseguenza della temperatura, in quanto, associati alla discriminante della stagione, esistono numerose variabili concomitanti, tra cui precipitazioni, portata, uso del territorio, attività agricole e zootecniche, esposizione alla radiazione solare e caratteristiche idrologiche. Per cui in questo studio, si vuole comunque evitare una generalizzazione dell'andamento stagionale.

5.3 Precipitazioni antecedenti e positività a Salmonella

Questo risultato è coerente con il meccanismo del dilavamento superficiale. Le precipitazioni possono mobilizzare materiale fecale presente sul suolo, nei sedimenti, nelle aree agricole o zootecniche e nelle superfici urbanizzate, favorendone il trasferimento verso corsi d'acqua e invasi. La letteratura riporta

associazioni tra recupero di Salmonella e precipitazioni avvenute uno o due giorni prima del campionamento, ma anche effetti riferibili alla settimana precedente. In altri contesti, tuttavia, la pioggia non ha mostrato una relazione significativa con Salmonella, a conferma del fatto che l'effetto meteorologico dipende dal bacino, dalle sorgenti contaminanti, dalla portata e dalla dinamica di diluizione.

La soglia di 10 mm emersa nel presente lavoro deve pertanto essere considerata esplorativa e specifica dell'insieme dei dati analizzati, non una soglia universalmente valida. Il fatto che la precipitazione trattata come variabile continua non mostrasse una relazione lineare altrettanto netta suggerisce inoltre una possibile risposta non lineare: eventi di una certa entità potrebbero essere sufficienti a mobilizzare contaminanti, mentre ulteriori incrementi di pioggia potrebbero produrre effetti differenti, compresa una maggiore diluizione.

5.4 Precipitazioni e indicatori di contaminazione fecale

Un elemento particolarmente rilevante è che l'associazione con le precipitazioni non riguarda soltanto Salmonella. Nei campioni preceduti da almeno 10 mm di pioggia nei sette giorni antecedenti aumentavano significativamente i coliformi totali, i coliformi fecali e gli streptococchi fecali. Questo risultato rafforza l'ipotesi che gli eventi meteorici favoriscano

l’ingresso o la ri-mobilizzazione di materiale di origine fecale nelle acque superficiali.

Il dato è importante perché fornisce un possibile collegamento tra l’evento meteorologico e la presenza del patogeno. La pioggia potrebbe non agire direttamente sulla Salmonella, ma favorire il trasporto di contaminazione fecale contenente Salmonella o creare condizioni idrologiche che aumentano contemporaneamente patogeno e microrganismi indicatori. Studi condotti in bacini agricoli hanno mostrato che precipitazioni, densità di sorgenti zootecniche e posizione lungo il corso d’acqua possono concorrere alla presenza di patogeni enterici e a maggiori concentrazioni di indicatori fecali.

5.5 Indicatori microbiologici e Salmonella

La relazione tra indicatori fecali e Salmonella è tuttavia complessa. Studi precedenti hanno rilevato correlazioni significative tra Salmonella e coliformi totali o enterococchi, ma hanno anche evidenziato una forte variabilità spaziale e una relazione meno consistente con i coliformi fecali. Altri lavori mostrano che gli indicatori fecali possono essere correlati alla presenza di Salmonella a livello di popolazione, tuttavia, questo non vuol dire che misurare questi indicatori equivale a ricercare direttamente Salmonella: danno informazioni sulla contaminazione fecale, ma non possono sostituire completamente l’analisi

specifica del patogeno. Salmonella e gli indicatori fecali possono sopravvivere per tempi diversi, legarsi diversamente a particelle e sedimenti e provenire da fonti animali o umane differenti. Per questo, valori elevati degli indicatori non corrispondono sempre alla presenza di Salmonella. Pertanto l'aumento di coliformi totali e streptococchi fecali osservato nei campioni positivi non implica che tali parametri possano predire con certezza la presenza di Salmonella. Essi possono essere considerati indicatori di condizioni favorevoli o di maggiore pressione fecale, ma la ricerca diretta del patogeno rimane indispensabile quando l'obiettivo è documentarne la presenza.

5.6 Rapporto tra pioggia, contaminazione fecale e Salmonella

Nel complesso, i risultati suggeriscono che la pioggia possa trascinare materiale fecale nell'acqua o rimettere in circolo quello già presente nei sedimenti. Questo aumento della contaminazione potrebbe rendere più probabile il rilevamento di Salmonella. È una possibile spiegazione, ma i dati non dimostrano un rapporto di causa ed effetto.

5.7 Differenze tra i punti di campionamento

L'analisi sito-specifica evidenzia una notevole eterogeneità. ALL COOP è risultato il sito con il segnale meteorologico più evidente: la soglia di 10 mm

nei sette giorni precedenti era associata ad una probabilità di ritrovare positività di Salmonella circa 5,4 volte maggiori. Lago Piaganini mostrava una probabilità elevata ma non statisticamente significativa, mentre a Collevecchio e Venaquila l'effetto della pioggia emergeva soprattutto attraverso l'aumento degli indicatori fecali. Tuttavia i pochi campioni positivi nei singoli siti, impongono cautela, e non ci permettono di spingerci a fare affermazioni troppo assolute.

Fonte Nera rappresenta il comportamento più particolare. Pur mostrando la maggiore percentuale di positività tra i principali siti, non presentava un incremento degli indicatori fecali associato alla pioggia, né un'associazione positiva tra soglia meteorologica e Salmonella. Questo risultato suggerisce che la contaminazione possa dipendere da sorgenti relativamente persistenti o da dinamiche locali non direttamente controllate dagli eventi metereologici considerati. Tra le possibili spiegazioni, in questo studio, possiamo ipotizzare presenza di fauna selvatica o allevamenti, caratteristiche dei sedimenti, idrodinamica locale e persistenza del microrganismo nell'ambiente.

Anche altri studi mostrano che la presenza di Salmonella può variare in base al tipo di acqua e alla sua provenienza. Inoltre, il legame tra Salmonella e gli indicatori fecali può essere diverso da un punto di campionamento all'altro.

Per questo, è utile valutare sia i risultati complessivi sia quelli di ogni singolo punto, considerando le caratteristiche delle zone da cui proviene l'acqua.

5.8 Significato epidemiologico e ambientale delle tipizzazioni

La caratterizzazione sierotipica amplia l'interpretazione della sola positività a Salmonella spp. Il risultato principale è la ricorrenza di Veneziana in anni e siti differenti, associata alla presenza di numerose altre tipizzazioni sporadiche.
La presenza di diversi sierotipi di Salmonella suggerisce che la contaminazione dell'acqua possa derivare sia da fonti che contribuiscono ripetutamente, sia da episodi occasionali che cambiano nel tempo. La maggiore frequenza di Veneziana nel campione studiato non dimostra, da sola, una sua maggiore capacità di sopravvivenza rispetto agli altri sierotipi.

Il ritrovamento ripetuto dello stesso sierotipo potrebbe dipendere da nuove contaminazioni provenienti dalla stessa fonte, dalla presenza del batterio nell'ambiente o negli animali, oppure dalla sua permanenza nell'acqua.

Per capire se i batteri trovati nei diversi campioni siano strettamente imparentati, servirebbe analizzare tutto il loro DNA mediante il sequenziamento dell'intero genoma. Questi risultati andrebbero poi confrontati

con informazioni sui possibili casi di infezione e sulla provenienza e sul percorso dell'acqua.

Nel campione prelevato a Collevecchio il 30/11/2020 sono stati trovati due sierotipi di Salmonella: Veneziana e Coeln. Potrebbero provenire da fonti diverse oppure da un'unica fonte contenente entrambi; questo risultato, da solo, non permette di stabilirlo.

Il prelievo va quindi contato come un solo campione positivo, pur contenendo due sierotipi. Inoltre, nelle analisi di laboratorio è utile considerare che le colonie ottenute dallo stesso campione possono appartenere a sierotipi diversi.

Le coincidenze del 20/07/2021 e del 19/08/2024 costituiscono episodi da approfondire mediante la ricostruzione dei bacini e dei tempi di trasferimento dell'acqua. La frequenza complessiva di Veneziana rende tuttavia plausibili anche coincidenze senza una sorgente comune. Il recupero di tre sierotipi differenti il 22/10/2024 può riflettere contaminazioni locali eterogenee; l'eventuale ruolo di condizioni meteorologiche condivise deve essere verificato collegando i singoli prelievi alle precipitazioni antecedenti.

ALL COOP presenta Veneziana in un solo campione su dieci positivi e numerose altre tipizzazioni, mentre Veneziana è più rappresentata tra i positivi

di Fonte Nera e Venaquila. Il ritrovamento di Litchfield in due campioni di ALL COOP prelevati a 28 giorni di distanza merita attenzione, ma non permette di capire se il batterio sia rimasto nell'acqua oppure sia arrivato con una nuova contaminazione. Numerosità ridotte, diversa distribuzione temporale dei prelievi e identificazioni incomplete impediscono di attribuire le differenze esclusivamente al sito. Poiché il prelievo ALL COOP avviene prima dello stabilimento, nessun sierotipo consente, da solo, di attribuire la contaminazione agli scarichi dell'impianto.

Il ritrovamento di Napoli in quattro campioni di tre siti assume interesse nel contesto italiano. Sabbatucci et al. (2018) hanno indicato acque superficiali e vegetali contaminati tra le probabili fonti di esposizione umana a questo sierotipo. Questo confronto conferma l'utilità di controllare la presenza di Salmonella nell'ambiente, ma non dimostra un legame con casi di malattia nelle persone nel territorio teramano.

La presenza di un sierotipo non consente di dedurre resistenza agli antibiotici, virulenza del singolo isolato o origine animale specifica, in assenza di ulteriori analisi.

5.9 Limiti dello studio

I risultati devono essere interpretati considerando alcuni limiti. In primo luogo, si tratta di uno studio osservazionale retrospettivo e le associazioni statistiche non consentono di stabilire causalità. In secondo luogo, la numerosità dei campioni positivi è relativamente ridotta rispetto ai negativi, soprattutto nelle analisi per anno o sito, con conseguente riduzione della forza statistica.

Un ulteriore limite riguarda l'associazione spaziale con i dati meteorologici ArCIS. Per alcuni punti di campionamento la cella valida della griglia meteorologica più vicina non coincideva esattamente con il sito e poteva trovarsi a diversi chilometri di distanza. In aree montane tale differenza può essere rilevante per la variabilità locale delle precipitazioni. Le analisi di sensibilità condotte sui punti con distanza più contenuta hanno tuttavia mantenuto il segnale meteorologico, riducendo la probabilità che l'intero risultato dipenda esclusivamente dall'approssimazione spaziale.

Devono inoltre essere considerate la disponibilità incompleta anche di alcuni parametri microbiologici. Infine, non erano disponibili nello stesso modello tutte le possibili variabili ambientali rilevanti, quali temperatura dell'acqua, portata, torbidità, uso del suolo, densità zootecnica, eventi di scarico, caratteristiche dei sedimenti e sorgenti fecali specifiche. La letteratura mostra

che proprio queste variabili possono modificare fortemente il rapporto tra precipitazioni e presenza di Salmonella.

Per l'analisi sierotipica, ulteriori limiti sono la compresenza di categorie con diversa risoluzione e l'assenza di profili genomici.

5.10 Implicazioni per il monitoraggio

Nonostante tali limiti, i risultati hanno implicazioni utili per il monitoraggio delle acque superficiali. La combinazione tra precipitazioni recenti, indicatori di contaminazione fecale e caratteristiche del sito potrebbe contribuire a identificare periodi e aree a maggiore probabilità di positività. In particolare, eventi piovosi antecedenti potrebbero rappresentare finestre temporali informative per intensificare il campionamento, soprattutto nei siti in cui è stato osservato un chiaro aumento della contaminazione microbiologica dopo la pioggia.

I dati suggeriscono inoltre che una strategia uniforme per tutti i siti potrebbe non essere ottimale. ALL COOP sembra maggiormente sensibile agli eventi meteorici, mentre Fonte Nera potrebbe richiedere un approfondimento sulle sorgenti locali indipendenti dalla pioggia. Un approccio sito-specifico, eventualmente integrato con informazioni sull'uso del territorio e sulle

potenziali sorgenti fecali, potrebbe quindi migliorare l'interpretazione dei dati di sorveglianza.

Capitolo sesto

CONCLUSIONI

Nel loro insieme, i risultati indicano che la presenza di Salmonella nelle acque superficiali studiate è associata a un insieme di fattori ambientali e microbiologici. La pioggia caduta prima del prelievo risulta associata alla presenza di Salmonella e, soprattutto, a valori più elevati degli indicatori di contaminazione fecale. Nel modello statistico, i coliformi totali e gli streptococchi fecali rimangono associati a Salmonella anche considerando gli altri fattori. Quando vengono inclusi questi indicatori, invece, il legame con la pioggia diventa più debole.

Questi risultati suggeriscono che la pioggia possa trasportare materiale fecale nell'acqua, portando con sé anche Salmonella, ma non dimostrano questo meccanismo. Inoltre, le differenze tra i punti di campionamento indicano che la contaminazione potrebbe avvenire in modi diversi nei vari siti.

Per questo, per valutare il rischio microbiologico è utile considerare insieme i risultati delle analisi dell'acqua, la pioggia e le caratteristiche del territorio, tenendo conto delle differenze tra i punti di campionamento. L'integrazione delle tipizzazioni aggiunge un elemento centrale: Veneziana ricorre in 20 dei

47 campioni positivi e in più siti e anni, insieme a sierotipi meno frequenti e a un campione con due ceppi, Veneziana e Coeln. Tale quadro rafforza l'interesse per una sorveglianza che integri esito microbiologico, sierotipo e contesto ambientale.

BIBLIOGRAFIA

B.1 Letteratura scientifica

BELL, R.L. et al. (2021). The Persistence of Bacterial Pathogens in Surface Water and Its Impact on Global Food Safety. Pathogens, 10(11), 1391. https://doi.org/10.3390/pathogens10111391.

BRENNER, F.W. et al. (2000). Salmonella Nomenclature. Journal of Clinical Microbiology, 38(7), 2465–2467. https://doi.org/10.1128/JCM.38.7.2465-2467.2000.

HALEY, B.J.; COLE, D.J.; LIPP, E.K. (2009). Distribution, diversity, and seasonality of waterborne salmonellae in a rural watershed. Applied and Environmental Microbiology, 75(5), 1248–1255. https://doi.org/10.1128/AEM.01648-08.

LIANG, L. et al. (2015). Alternative Fecal Indicators and Their Empirical Relationships with Enteric Viruses, Salmonella enterica, and Pseudomonas aeruginosa in Surface Waters of a Tropical Urban Catchment. Applied and Environmental Microbiology, 81(3), 850–860. https://doi.org/10.1128/AEM.02670-14.

LIU, H.; WHITEHOUSE, C.A.; LI, B. (2018). Presence and Persistence of Salmonella in Water: The Impact on Microbial Quality of Water and Food

Safety. Frontiers in Public Health, 6, 159. https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00159.

MCEGAN, R. et al. (2013). Predicting Salmonella Populations from Biological, Chemical, and Physical Indicators in Florida Surface Waters. Applied and Environmental Microbiology, 79(13), 4094–4105. https://doi.org/10.1128/AEM.00777-13.

PAVAN, V. et al. (2019). High resolution climate precipitation analysis for north-central Italy, 1961–2015. Climate Dynamics, 52, 3435–3453. https://doi.org/10.1007/s00382-018-4337-6.

POLO, F. et al. (1998). Relationship between presence of Salmonella and indicators of faecal pollution in aquatic habitats. FEMS Microbiology Letters, 160(2), 253–256. https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1998.tb12919.x.

ROCHA, A.D.L. et al. (2022). Revisiting the Biological Behavior of Salmonella enterica in Hydric Resources: A Meta-Analysis Study Addressing the Critical Role of Environmental Water on Food Safety and Public Health. Frontiers in Microbiology, 13, 802625. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.802625.

B.2 Istituto Superiore di Sanità, sorveglianza ed epidemiologia

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ – EpiCentro. Salmonella: informazioni generali, sintomi, modalità di trasmissione, popolazioni sensibili, terapia e prevenzione. https://www.epicentro.iss.it/salmonella/

EFSA; ECDC (2024). The European Union One Health 2023 Zoonoses Report. EFSA Journal, 22(12), e9106. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.9106. https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/european-union-one-health-2023-zoonoses-report.

ENTER-NET ITALIA – ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ. Sistema di sorveglianza di laboratorio delle infezioni da Salmonella e altri patogeni enterici. https://enternet.iss.it/.

B.3 Metodi analitici e normativa

BONADONNA, L.; OTTAVIANI, M. (a cura di) (2007). Metodi analitici di riferimento per le acque destinate al consumo umano ai sensi del D.Lgs. 31/2001. Metodi microbiologici. Rapporti ISTISAN 07/5. Istituto Superiore di Sanità, Roma.

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ (2007). Metodi analitici di riferimento per le acque destinate al consumo umano ai sensi del D.Lgs. 31/2001. Metodi chimici. Rapporti ISTISAN 07/31. Istituto Superiore di Sanità, Roma.

UNIONE EUROPEA (2020). Direttiva (UE) 2020/2184 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2020, concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 435 del 23 dicembre 2020.

REPUBBLICA ITALIANA (2023). Decreto Legislativo 23 febbraio 2023, n. 18. Attuazione della direttiva (UE) 2020/2184 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano. Gazzetta Ufficiale, Serie Generale n. 55 del 6 marzo 2023.

REPUBBLICA ITALIANA (2006). Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale, Parte Terza e Allegato 2. Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006, Supplemento Ordinario n. 96.

B.4 Fonti istituzionali e territoriali – Abruzzo e Provincia di Teramo

ARPA ABRUZZO (già ARTA Abruzzo). Rapporti di prova e rapporti di monitoraggio delle acque superficiali della provincia di Teramo, anni 2020–2025. Distretto Provinciale di Teramo. Documentazione primaria utilizzata per la costruzione del database di tesi. Sito istituzionale: https://www.artaabruzzo.it/.

ASL TERAMO – SIAN. Report di monitoraggio delle acque superficiali, sorgenti e acque in rete; documentazione e verbali di campionamento utilizzati

nel presente studio, anni 2020–2025. Sito istituzionale: https://www.aslteramo.it/.

ASL TERAMO (2017). Deliberazione n. 710 del 12 giugno 2017. Documentazione relativa alla classificazione delle acque superficiali del bacino idrico a monte della traversa di Villa Vomano e all'istanza ALL.COOP.

RUZZO RETI S.p.A. (2024). Modello di Organizzazione, Gestione e Controllo – Parte Speciale. Documentazione relativa al potabilizzatore di Casale San Nicola e al Canale di Gronda ENEL in località Fonte Nera. https://www.ruzzo.it/

CONSORZIO DI BONIFICA NORD – Bacino del Tronto, Tordino e Vomano. Documentazione istituzionale relativa alla traversa di Villa Vomano, alla rete irrigua e al sistema di adduzione dei comprensori Vomano e Tordino. https://www.cbnordteramo.it/

B.5 Dati meteorologici e materiali del presente studio

ArCIS – Archivio Climatologico per l'Italia Centro-Settentrionale (2026). Dataset di precipitazione giornaliera, versione 3.1: ARCIS31_GG_PR_2011-2020.nc.gz e ARCIS31_GG_PR_2021-2025.nc.gz. https://www.arcis.it/wp/prodotti/

ArCIS – Archivio Climatologico per l'Italia Centro-Settentrionale. Bibliografia e documentazione metodologica del dataset pluviometrico. https://www.arcis.it/wp/bibliografia/

PROTEZIONE CIVILE REGIONE ABRUZZO – Centro Funzionale d'Abruzzo. Bollettini di criticità, avvisi di condizioni meteorologiche avverse e previsioni meteorologiche utilizzati per il controllo qualitativo degli eventi antecedenti ai campionamenti, in particolare per l'anno 2024. https://allarmeteo.regione.abruzzo.it/.

B.6 Fonti specifiche su Salmonella Napoli

GORI, M. et al. (2018). High-resolution diffusion pattern of human infections by Salmonella enterica serovar Napoli in Northern Italy explained through phylogeography. PLOS ONE, 13(8), e0202573. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202573.

SABBATUCCI, M. et al. (2018). Molecular and Epidemiologic Analysis of Reemergent Salmonella enterica Serovar Napoli, Italy, 2011–2015. Emerging Infectious Diseases, 24(3), 562–565. https://doi.org/10.3201/eid2403.171178.