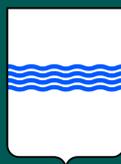
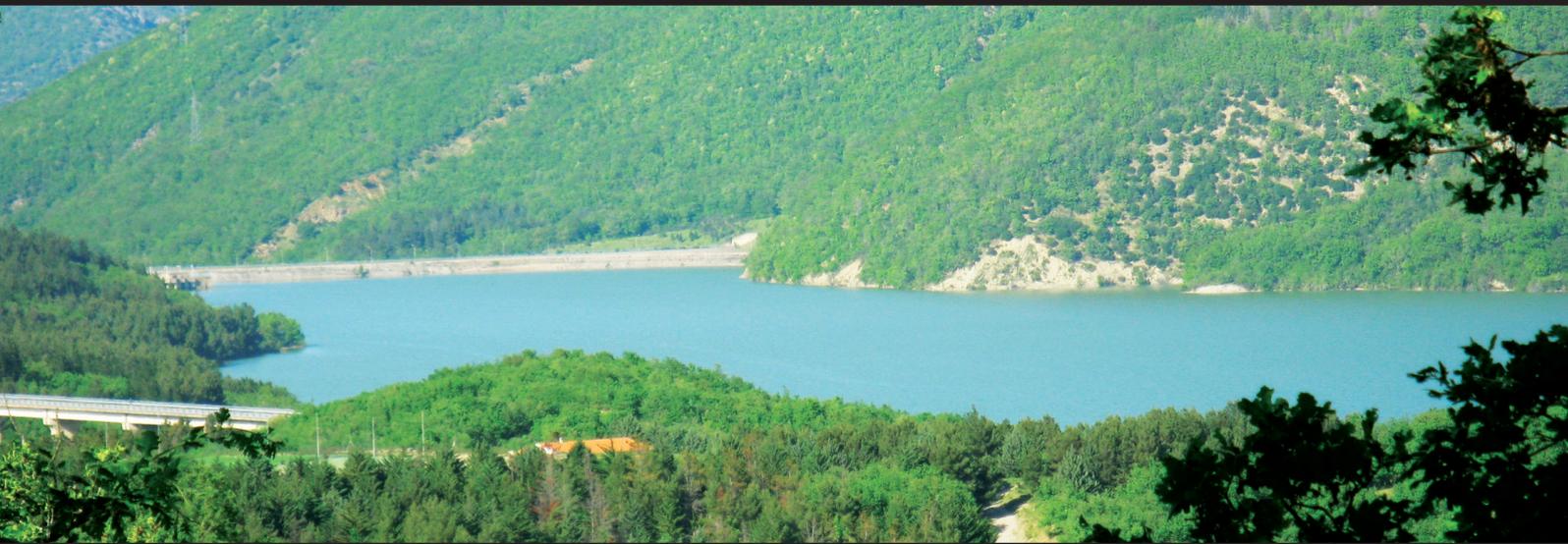




LE MIGLIORI TESI DI LAUREA
SULLA BASILICATA

MARIA ZACCARDO

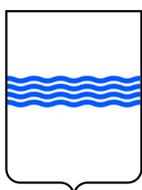
**ANALISI STATISTICA MULTIDIMENSIONALE
DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE
IN INGRESSO AL POTABILIZZATORE
A SERVIZIO DELLA CITTÀ DI POTENZA**



Consiglio Regionale della Basilicata

MARIA ZACCARDO

**ANALISI STATISTICA MULTIDIMENSIONALE
DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE
IN INGRESSO AL POTABILIZZATORE
A SERVIZIO DELLA CITTÀ DI POTENZA**



Consiglio Regionale della Basilicata

INDICE

PRESENTAZIONE	7
INTRODUZIONE	9
CAPITOLO 1. L'Acqua: la sua Natura e le sue Caratteristiche	11
1.1 L'acqua in natura	11
1.2 L'acqua nella storia	12
1.3 La qualità dell'acqua	15
1.3.1 <i>Caratteristiche organolettiche dell'acqua</i>	16
1.3.2 <i>Parametri caratteristici dell'acqua</i>	17
1.4 La potabilizzazione dell'acqua	18
CAPITOLO 2. Caso di Studio: la Potabilizzazione delle Acque provenienti dall'Invaso della Camastra	23
2.1 Invaso del Camastra	23
2.2 Impianto di Masseria Romaniello	24
2.3 Processo di potabilizzazione	26
2.3.1 <i>Pre-disinfezione</i>	28
2.3.2 <i>Clariflocculazione</i>	29
2.3.3 <i>Filtrazione</i>	32
2.3.4 <i>Disinfezione</i>	35
2.3.5 <i>Trattamento funghi</i>	35
CAPITOLO 3. Analisi Statistica Multivariata delle Componenti Principali	39
3.1 Analisi Statistica preliminare	39
3.1.1 <i>Parametri statistici principali</i>	39
3.2 Analisi Stastitica Multivariata o Multidimensionale	43
3.3 Analisi delle Componenti Principali	44
3.3.1 <i>Definizione e determinazione delle componenti principali</i>	46

CAPITOLO 4. Elaborazione dei Dati: Risultati della Discussione	49
4.1 Il campione dei dati	49
4.1.1 <i>Caratterizzazione dei parametri analizzati</i>	68
4.1.1.1 <i>Parametri Fisici</i>	68
4.1.1.2 <i>Parametri Chimici</i>	71
4.1.1.2 <i>Parametri Batteriologici</i>	78
4.2 Discussione risultati Analisi Statistica Preliminare	82
4.2.1 <i>Analisi Statistica Univariata</i>	82
4.2.2 <i>Analisi Statistica Bivariata</i>	100
4.3 Discussione risultati Analisi Statistica Multivariata	113
4.3.1 <i>Ricerca degli outliers</i>	127
4.3.2 <i>Metodo della distanza di Mahalanobis</i>	127
4.3.3 <i>Analisi delle Componenti Principali</i>	135
CONCLUSIONI	165
SOMMARIO ESTESO	167
BIBLIOGRAFIA	171

PRESENTAZIONE

Il Concorso Nazionale “Studi e Ricerche sulla Basilicata” premia le giovani menti lucane che hanno messo a frutto la propria conoscenza per riscoprire e valorizzare il territorio della Basilicata.

I lavori premiati nella IX edizione del concorso hanno messo in evidenza le eccellenze presenti nella nostra regione valorizzandone le ricchezze naturali e non solo.

In un momento storico di incertezza e smarrimento come quello attuale è importante riaffermare il valore della conoscenza, rafforzando il ruolo dell’Università nella vita dei giovani impegnati nella propria formazione attraverso uno studio consapevole e perseverante.

Questo concorso rappresenta un’occasione importante per creare un ponte tra Università e Territorio, consolidando nei giovani lucani il loro senso di appartenenza alla propria regione.

Il presente lavoro di tesi è finalizzato alla valutazione della qualità delle risorse idriche lucane, ponendo l’attenzione in particolar modo sull’acqua attinta dall’invaso del Camastra e utilizzata ad uso potabile nella provincia di Potenza.

Le risorse idriche della Basilicata rappresentano una delle ricchezze naturali più importanti della regione. Nell’elaborato in questione sono stati esaminati i parametri chimico-fisici e batteriologici riguardanti l’acqua in ingresso al potabilizzatore di Masseria Romaniello, che serve il comune di Potenza e il suo hinterland.

Mediante un’analisi statistica multivariata sono state valutate le relazioni tra i diversi parametri utilizzati per il controllo dell’acqua da potabilizzare, individuando tra essi alcuni indicatori importanti ai fini del monitoraggio della qualità.

Il lavoro è di grande interesse ed affronta con approccio rigoroso il tema del trattamento delle acque.

La tesi è sviluppata in modo completo, chiaro e coerente, fornendo un contributo significativo su un tema attuale e di grande rilevanza per il territorio lucano caratterizzato da grande disponibilità di risorse idriche.

Vincenzo Santochirico

Presidente del Consiglio Regionale della Basilicata

INTRODUZIONE

Questa tesi nasce come tentativo di esplorare e, per quanto possibile, approfondire, un tema oggi più che mai attuale e al centro di continue discussioni: *la qualità delle acque superficiali per uso potabile*.

L'acqua è da sempre uno dei beni più importanti esistenti sulla terra, fondamentale per la vita dell'uomo, nonché una preziosa risorsa da gestire responsabilmente, soprattutto da quando si è acquistata consapevolezza che essa non è inesauribile, ma, al contrario, che la sua disponibilità è limitata.

Fortunatamente la nostra regione non risente in misura preoccupante della scarsità d'acqua, anzi le risorse idriche in Basilicata rappresentano una delle ricchezze naturali più abbondanti. La Basilicata è interessata da una complessa e fitta rete idrografica, determinata dalla presenza della catena appenninica che attraversa il territorio occidentale della regione, costituita da cinque fiumi principali (Agri, Basento, Bradano, Cavone e Sinni) con foce nel mar Jonio e i cui bacini si estendono per circa il 70% del territorio regionale. La restante porzione è invece interessata dal bacino in Destra del fiume Ofanto, che sfocia nel mar Adriatico, e dai bacini del fiume Lao, Noce e Sele con foce nel mar Tirreno. Si tratta complessivamente di nove bacini idrografici, per un'estensione totale di 11.171,18 Km².

L'idrologia dei bacini lucani assicura una buona disponibilità di risorsa idrica. Le principali fonti di approvvigionamento (invasi artificiali, sorgenti, fiumi e torrenti), infatti, sono in grado di garantire una disponibilità di acqua annua pari a circa 1.000 milioni di metri cubi, da utilizzare in più settori: il potabile, l'irriguo, l'idroelettrico e in minima parte l'industriale. La risorsa idrica dei principali corsi d'acqua lucani è stata intercettata mediante la realizzazione di grandi opere di accumulo, quali dighe e traverse, che ne hanno reso più agevole l'utilizzo.

Nel presente elaborato viene preso in considerazione un particolare invaso lucano: *l'invaso del Camastra*, le cui acque soddisfano i fabbisogni idropotabili della città di Potenza e del suo hinterland, oltre ai fabbisogni idrici dell'area industriale Val Basento in territorio materano e, in periodi di siccità, fanno fronte alla richiesta ad uso irriguo delle colture presenti lungo le fasce golenali del fiume Basento.

Le acque provenienti dall'invaso del Camastra sono addotte al potabilizzatore di Masseria Romaniello, dove subiscono un processo di potabilizzazione che, modificandone le caratteristiche chimico-fisiche, le rende idonee al consumo umano.

Presso il suddetto impianto di potabilizzazione vengono quotidianamente effettuati controlli sull'acqua grezza in entrata e sull'acqua trattata in uscita, monitorando parametri sia chimico-fisici che batteriologici. Nel caso in questione sono stati trascurati i dati riguardanti l'acqua trattata, per condurre altresì uno studio incentrato sulle analisi chimico-fisiche e batteriologiche eseguite sull'acqua grezza dell'acquedotto Basento - Camastra destinate all'approvvigionamento di 20 centri abitati della provincia di Potenza (oltre al capoluogo stesso).

Nel presente lavoro è stato esaminato un campione di dati relativi ai valori dei parametri chimico-fisici e

batteriologici monitorati dal 2002 al 2009, realizzando su di essi un'analisi statistica multidimensionale della qualità dell'acqua grezza in ingresso all'impianto di potabilizzazione di Masseria Romaniello.

Il lavoro svolto è stato suddiviso in quattro capitoli. Il primo è dedicato alla descrizione delle principali caratteristiche dell'acqua in natura, dei parametri di qualità per l'acqua potabile e dei trattamenti di potabilizzazione necessari a migliorarne le caratteristiche organolettiche, chimiche e biologiche. Nel secondo capitolo è descritto l'impianto di potabilizzazione sito in località Masseria Romaniello in cui vengono effettuate analisi chimico-fisiche e batteriologiche sulle acque provenienti dall'invaso del Camastra con lo scopo di stabilirne la qualità e valutare i trattamenti di potabilizzazione necessari, per poter immettere in acquedotto un'acqua potabile di alta qualità. L'acqua in uscita dal potabilizzatore va ad integrare la disponibilità d'acqua di sorgente a disposizione dell'acquedotto lucano e soddisfa il fabbisogno idrico potabile di Potenza e della maggior parte dei comuni della provincia. Nel terzo capitolo vengono illustrate le procedure necessarie a realizzare un'analisi statistica multivariata, basata sull'applicazione dell'Analisi delle Componenti principali. Lo scopo di tale analisi è determinare le relazioni tra i diversi parametri e valutare quali tra questi meglio descrive la qualità delle acque superficiali avviate al processo di potabilizzazione.

Nel quarto capitolo, infine, viene illustrata la procedura adottata per effettuare un'analisi statistica multivariata sul campione dei dati in questione, partendo dai risultati di un'analisi univariata e bivariata. Dopo aver realizzato un'analisi statistica descrittiva e calcolato i principali parametri statistici, si è proceduto all'analisi delle frequenze. Una volta standardizzati i dati, per poter approssimare la loro distribuzione ad una distribuzione normale, questi sono stati messi in relazione a due a due in un'analisi bivariata, per valutare il grado di correlazione tra i diversi parametri, sia chimici che batteriologici. Successivamente, ma prima di procedere con un'analisi multivariata, si è provveduto ad eliminare gli outliers, utilizzando il metodo della distanza di Mahalanobis per campioni multidimensionali. Infine, si è completata l'analisi multivariata con la determinazione delle componenti principali e con la conseguente analisi e discussione dei risultati ottenuti.

Lo studio effettuato ha permesso di valutare la qualità delle acque provenienti dall'invaso del Camastra, portando, attraverso l'analisi e la discussione dei risultati dell'analisi statistica realizzata, a delle conclusioni sui parametri di qualità delle acque in ingresso al potabilizzatore a servizio della città di Potenza.

Capitolo 1

L'ACQUA: LA SUA NATURA E LE SUE CARATTERISTICHE

1.1 L'acqua in natura

L'acqua in natura è tra i principali costituenti degli ecosistemi ed è alla base di tutte le forme di vita conosciute, uomo compreso; la stessa origine della vita è dovuta alla presenza di acqua nel nostro pianeta. Con il termine "acqua" si intende comunemente il composto chimico di formula H_2O , che allo stato libero, cioè non legata chimicamente ad altri elementi, si presenta in natura sotto forma liquida, solida (ghiaccio) e gassosa (vapore acqueo). I cambiamenti dell'acqua da uno stato fisico all'altro si possono riscontrare all'interno del ciclo dell'acqua, o tecnicamente "ciclo idrologico", che consiste nella circolazione dell'acqua all'interno dell'idrosfera terrestre.

Le principali sedi di residenza dell'acqua allo stato libero sono:

- a) oceani e mari, che costituiscono oltre il 97% dell'acqua presente sul pianeta;
- b) ghiacci dell'Antartide e della Groenlandia, che rappresentano circa il 2,4% dell'acqua terrestre;
- c) superficie e sottosuolo terrestre, che contengono il restante 1%;
- d) atmosfera terrestre, in cui troviamo lo 0,03% dell'acqua terrestre sotto forma di vapore.

A seconda della loro provenienza, le acque naturali si classificano in:

- acque meteoriche (pioggia, neve, grandine, rugiada, brina);
- acque sotterranee (falde profonde o freatiche);
- acque superficiali (mari, fiumi, laghi, sorgenti).

L'acqua compie un ciclo continuo tra l'atmosfera, il suolo, le acque di superficie, le acque profonde e gli esseri viventi.



Figura 1.1: Ciclo naturale dell'acqua

Grazie all'evaporazione delle acque superficiali per effetto dell'irraggiamento solare ed alla traspirazione delle piante, si formano le nubi negli strati più freddi dell'atmosfera. Queste vengono trasportate dai venti ed al variare di temperatura e/o pressione, ritornano al suolo sotto forma di acque meteoriche, alimentando ulteriormente le acque superficiali ed in parte (filtrando nel terreno) quelle sotterranee. La quantità di acqua presente sulla superficie e nel sottosuolo terrestre, unita a quella contenuta nell'atmosfera sotto forma di vapore, consente la vita di ogni specie animale e vegetale sulle terre emerse.

L'infiltrazione delle acque naturali nel terreno genera le cosiddette "acque sotterranee", mentre la porzione di acqua che scorre sulla superficie terrestre costituisce le "acque superficiali". Raggiunta la capacità di infiltrazione del terreno, si assiste allo scorrimento delle acque di pioggia sulla superficie terrestre che genera il fenomeno del ruscellamento. Sia le acque sotterranee che le acque superficiali possono essere utilizzate per l'uso umano, attraverso un processo di potabilizzazione.

1.2 L'acqua nella storia

^[21] L'acqua è indispensabile all'uomo nei suoi molteplici usi civili, agricoli e industriali; e l'uomo ha riconosciuto sin da tempi antichissimi l'importanza dell'acqua per la vita, identificandola con il principale elemento costitutivo dell'universo e attribuendogli un profondo valore storico e simbolico, riscontrabile addirittura nelle principali religioni. Già gli antenati degli Aztechi, spinti da necessità ambientali, costruirono importanti sistemi per la gestione della risorsa idrica. In quelle zone il clima tropicale assicurava

abbondanti piogge per i mesi della stagione monsonica, mentre per metà dell'anno il clima era troppo secco per consentire le pratiche agricole. Quindi per consentire l'accumulo di acqua realizzarono sistemi per la raccolta e la distribuzione idrica su vasta scala: imponenti dighe di contenimento, una fitta rete di canalizzazioni ed il sistema di coltivazione a terrazze irrigate. Seppur relativamente semplici, soprattutto se confrontati con i manufatti romani dello stesso periodo, queste opere idrauliche si dimostrano assai efficienti e permisero agli agricoltori preistorici del Messico meridionale di far fronte ai ciclici periodi di siccità caratteristici di quelle zone.

Molti congegni come il mantice, la siringa, l'orologio ad acqua ed il sifone, già in uso da secoli presso più antiche civiltà come quella egizia, vennero ben presto acquisiti dai Greci i quali, peraltro, ebbero il merito aggiunto di studiare, comprendere e descrivere i principi fisici che li regolavano. Non è un caso, infatti, che gli studiosi greci siano stati artefici del più grande avanzamento culturale che la storia ricordi, sicuramente in ambito filosofico, ma anche nei settori più tecnici e scientifici, in cui vennero approfonditi, come mai prima di allora, aspetti legati all'idrostatica, all'idrodinamica, alla pneumatica, alla matematica, alla geometria ed alla fisica. Molti furono gli studiosi greci che segnarono la storia dell'idraulica, sia per alcune importanti scoperte teoriche sia per le realizzazioni pratiche di grande interesse. Tra le prime grandi opere ricordiamo quella di Eupalino, architetto ed ingegnere che, intorno alla metà del VI secolo a.C., progettò e fece realizzare un grandioso acquedotto per l'isola di Samo. I primi studi teorici riguardanti il moto delle acque vennero compiuti dallo storico e scienziato Ctesias; inoltre, ricordiamo la moltitudine di scoperte e invenzioni di Archimede, e in ultimo la pompa idraulica ideata da Ctesibio, intorno al II secolo a.C, per sollevare a notevoli altezze moderati volumi di acqua.

Numerose furono le conoscenze che i Romani ereditarono dai Greci nel campo delle acque e che nei secoli li hanno portati ad essere ricordati come i primi ingegneri idraulici della storia, soprattutto per la realizzazione di maestose opere, come i grandi acquedotti costruiti a partire dal 312 a.C. e le terme imperiali, attraverso le quali resero possibile l'urbanizzazione, nonché la diffusione del benessere e dell'igiene, sia a Roma che in tutte le città edificate durante il periodo imperiale. Essi avevano anche una legge sugli acquedotti, emanata nel 97 d. C.

Prima dei Romani la sola acqua, non miscelata a nessun'altra bevanda, veniva spesso considerata non adatta al consumo umano, in quanto vista come potenziale fonte di malattie. Sin dall'antichità, infatti, l'uomo fece rilevante uso di bevande o altro in sostituzione dell'acqua; in particolare nei paesi orientali era ben noto il tè, mentre in quelli occidentali si consumava regolarmente il vino. L'acqua, anche se di ottima qualità, poteva degradarsi e perdere le sue proprietà originarie se non adeguatamente conservata; le popolazioni marinare ben sapevano, infatti, come l'acqua potabile potesse diventare in breve tempo maleodorante e insalubre. La bollitura dell'acqua era una prassi in uso da molto tempo nei paesi dell'Oriente; tale prassi, che aveva l'effetto di distruggere le "componenti indesiderate" eventualmente presenti nell'acqua, venne utilizzata in occidente molto più tardi, solo verso il XVII secolo, con la diffusione dell'uso del caffè e del tè. In epoca medioevale, ma soprattutto rinascimentale, vennero anche costruiti, sulla falsariga romana, acquedotti su arcuazioni per il trasporto a distanza delle acque sfruttando semplicemente la forza di gravità. Non s'immaginava che l'acqua potesse essere un importante vettore di trasmissione di alcune

malattie: limpidezza ed assenza di sapori erano considerati parametri in grado di garantirne la salubrità (oggi sappiamo bene che tali caratteri organolettici sono, da soli, assolutamente insufficienti a stabilire la bontà di un'acqua). La fine del XV secolo segnò il tramonto dell'epoca medioevale ed il sorgere di nuovi schemi di pensiero che permisero la nascita e la diffusione di movimenti culturali nel territorio occidentale che condussero ben presto a riconsiderare l'importante ruolo igienico ed alimentare dell'acqua, che già la caratterizzò nel passato. La disponibilità dell'acqua corrente e la presenza di servizi igienici nelle abitazioni, anche nei grandi contesti urbani, erano un lusso ancora alla fine del XIX secolo. Nel Medioevo, infatti, a causa dei modestissimi livelli igienici della popolazione e dalla scarsa disponibilità di acqua potabile il colera trova il suo maggior sviluppo. Numerosi casi di diffusione di questa epidemia si registrano tuttavia sino alla fine del XIX secolo in molte città d'Europa, causando in pochi anni migliaia di morti, come ad esempio ad Amburgo (1892), città in cui in pochi mesi si contarono oltre 9000 vittime. Bisognerà attendere la fine del XIX secolo per dimostrare l'esistenza di microscopici agenti patogeni in grado di moltiplicarsi e generare infezioni. Fu, infatti, con i lavori di Pasteur sui microrganismi, realizzati verso la metà del XIX secolo, che si gettarono le basi per la moderna microbiologia. Molte altre scoperte in tale campo si succedettero velocemente: vennero così isolati il bacillo della lebbra (Hansen 1874), del tifo (Eberth 1880), del vibrione del colera (Koch 1883) e quello della peste (Yersin 1894) e si prese coscienza delle modalità di sviluppo delle malattie contagiose. In particolare si comprese l'esistenza di una correlazione tra il livello igienico dell'acqua che si beveva ed il livello di salute della popolazione e di conseguenza si fece sempre più forte l'esigenza di avere a domicilio acqua abbondante e di buona qualità. Presero campo i primi trattamenti sulle acque pubbliche e grazie a queste prime precauzioni si registrò un notevole decremento nella diffusione dei contagi dovuti alle fonti alimentari. Il concetto di potabilità ha avuto una notevole evoluzione con il passare degli anni, per questo motivo le acque erogate un tempo, provenienti sia dai pozzi sia dall'acquedotto, risulterebbero quasi sicuramente non potabili se valutate secondo i criteri attuali. Solo all'inizio del XIX secolo cominciarono ad essere impiegati vari tipi di trattamenti per rendere l'acqua potabile, anche se gli stessi furono diretti essenzialmente al miglioramento dei caratteri organolettici dell'acqua ed in particolare a tutto ciò che ne comprometteva la limpidezza. Si assiste così alla nascita ed allo sviluppo in Europa e negli Stati Uniti di alcune tecniche di potabilizzazione: decantazione, filtrazione, rimozione del ferro e del manganese. Tuttavia, prima ancora che venisse perfezionata la teoria microbica del contagio, il ricorso a prodotti disinfettanti traeva motivazione dalla volontà di eliminare colori e odori sgradevoli presenti nell'acqua. All'inizio l'aggiunta di prodotti disinfettanti era fatta in maniera discontinua, tramite aspersione, poi cominciarono a diffondersi i primi sistemi di disinfezione, inizialmente con il ricorso a cloro o a derivati da esso. Grazie all'impiego di questi trattamenti, fu immediatamente riscontrata una generalizzata diminuzione nei decessi dovuti a malattie connesse all'ingestione di germi patogeni. Le epidemie di colera e tifo che imperversarono nella seconda metà del XIX secolo furono le ultime, almeno nel vecchio continente. Le prime reti idriche sorsero già nel 1802 a Philadelphia (USA), mentre le città italiane aspettarono fino alla fine dell'ottocento per dotarsi di moderne strutture. Le soluzioni adottate furono lo scavo di pozzi sempre più profondi, la costruzione di acquedotti, l'uso di impianti di sedimentazione, il ricorso a filtri di sabbia e quindi la

disinfezione dell'acqua.

Il cloro fu utilizzato per la prima volta come agente disinfettante dell'acqua destinata all'uso potabile nel 1896 a Louisville (USA) in abbinamento ad un trattamento di filtrazione lenta su sabbia.

A partire dagli inizi del XX secolo si raggiunsero livelli igienici sino ad allora sconosciuti: le malattie contagiose, diffuse nei secoli precedenti, vennero arginate e definitivamente debellate e la quotidianità si fece progressivamente sempre più agiata e sicura. L'acqua iniziò ad essere seriamente presa in considerazione da scienziati e politici, sia per la comprensione delle caratteristiche chimico-fisiche uniche sia per il suo utilizzo che, con lo svilupparsi di agglomerati urbani più numerosi, si fece sempre più massiccio.

La pratica della clorazione ha in effetti debellato le malattie di origine batterica e virale (colera, tifo e dissenteria) che vengono tipicamente propagate attraverso l'acqua inquinata. Tuttavia, secondo l'OMS (l'Organizzazione Mondiale della Sanità) ancora oggi più di nove milioni di persone muoiono ogni anno a causa di patologie provocate dal consumo di acqua non idoneamente sottoposta a disinfezione.

1.3 La qualità dell'acqua

Un problema idrogeologico di notevole importanza pratica riguarda la qualità dell'acqua, ossia le sue caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche. La qualità dell'acqua è strettamente dipendente dall'uso a cui questa è destinata (agricolo, potabile, industriale) e viceversa, l'utilizzabilità delle acque dipende dallo loro qualità. Non tutte le acque sono potabili, come non tutte sono adatte a particolari usi industriali o agricoli.

Nella legge n°319/76 *“norme per la tutela delle acque dall'inquinamento”*, abrogata dal Dlgs 152/99, i corpi idrici sono così distinti:

- a) Laghi e serbatoi
- b) Corsi d'acqua naturali e artificiali
- c) Acque di transizione
- d) Acque costiere
- e) Falde acquifere sotterranee

Per la preparazione delle acque ad uso potabile possono essere utilizzate le acque superficiali di cui ai punti a) e b) e le acque di sottosuolo di cui al punto e), oltre naturalmente alle sorgenti. Mentre i requisiti che deve avere un'acqua per essere considerata potabile - ai sensi del Dlgs 152/06 *“Norme in materia ambientale”* oppure del Dlgs 31/01 *“Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano”* - possono essere stabiliti in maniera più o meno orientativa, in quanto il giudizio di potabilità emerge da una complessa indagine che tiene conto del criterio epidemiologico-tossicologico; è quindi praticamente impossibile stabilire in modo preciso i requisiti che deve avere un'acqua per essere considerata potabilizzabile.

Infatti, se un'acqua di sorgente si presenta all'analisi chimica, fisica e microbiologica con i requisiti contemplati nella suddetta normativa, ma l'indagine idrogeologica mostra che sono da temere possibilità di inquinamenti, il giudizio non può che essere riservato. Si riporta dall' *Enciclopedia Italiana* la definizione di

acqua potabile: “Un’acqua si dice potabile, quando, oltre a possedere sapore, colore e limpidezza che la rendano grata al gusto e alla vista, oltre a non avere odore spiacevole, abbia composizione adatta a soddisfare i bisogni fisiologici del ricambio dell’organismo e non possa recare a questo alcun danno o malattia, per la presenza in essa sia di sostanze chimiche nocive, sia di germi patogeni”. Dal punto di vista dell’igiene, l’acqua ad uso potabile deve rispondere a determinati requisiti di purezza. Essa infatti può essere spesso veicolo di parassiti patogeni per l’uomo, poiché nel suo ciclo viene a contatto con molti altri elementi e soprattutto con l’aria e con il suolo. È pertanto assolutamente indispensabile un rigoroso controllo sanitario sull’acqua ad uso potabile e un’esatta conoscenza dei caratteri organolettici, fisici, chimici e biologici che contraddistinguono l’acqua pura da quella inquinata o soggetta comunque a possibili inquinamenti.

1.3.1 Caratteristiche organolettiche dell’acqua

Si indicano con questo termine il colore, l’odore, il sapore e la torbidità. IL COLORE di un campione d’acqua viene generalmente determinato mediante colorimetri tipo Lovibond o Nessleriser, muniti di vetrini colorati di confronto. ^[3] La colorazione delle acque può essere dovuta a cause naturali, come lo sviluppo di microrganismi, che impartiscono colore rosso o azzurro a certi famosi laghetti alpini, o la presenza di sostanze umiche. A queste ultime, come riferisce il prof. Reino Ryhanen, si deve ascrivere la colorazione giallo-bruna delle acque di molti laghi della Finlandia. Più sovente, tuttavia, la colorazione è provocata dallo scarico di sostanze coloranti, generalmente organiche, il cui effetto è chiaramente percepibile anche a concentrazioni minime, dell’ordine di pochi centesimi di mg/l; a causa di ciò, il colore non è generalmente un indice di nocività delle acque. Ciò non significa che il fenomeno della colorazione delle acque debba essere tollerato, infatti esistono motivi estetici e psicologici che consigliano la sua prevenzione.

L’ODORE dell’acqua non può evidentemente essere misurato mediante apparecchi o titolazioni chimiche e ci si deve quindi affidare, per la sua valutazione, al senso dell’odorato e alla maggiore o minore tolleranza del cittadino medio al disturbo da esso causato. Purtroppo si tratta quasi sempre di odori disgustosi e nauseabondi, come si può rilevare dalla seguente classificazione, dovuta alla *Royal Commission on Sewage Disposal*:

- Odori putridi (dovuti principalmente all’idrogeno solforato)
- Odore di pesce (dovuto probabilmente ad ammine organiche)
- Odore di vermi (causato da sostanze fosforate)
- Odore di terra (il meno sgradevole dovuto all’humus).

La presenza dei suddetti odori denuncia generalmente un inquinamento di origine domestica, mentre gli scarichi industriali contengono sovente sostanze naturali o sintetiche che producono le più diverse sensazioni olfattive.

IL SAPORE dell’acqua è una caratteristica che acquista significato solamente nel caso in cui il corpo idrico sia destinato al prelievo d’acqua per uso potabile. Anche qui, come per l’odore, il giudizio non può che essere soggettivo. Le più diverse sostanze chimiche possono impartire sapori sgradevoli all’acqua, ma

se l'inquinamento non è eccessivo, l'inconveniente può essere in genere agevolmente rimosso grazie ai normali trattamenti di potabilizzazione. Uno tra questi è la clorazione, che tuttavia comporta l'alterazione del sapore per concentrazioni di cloro superiori a 0,1 mg /l, ma la presenza di questa sostanza, seppur percepibile dal gusto umano, è tuttavia generalmente ben tollerata dalla popolazione, salvo in alcune città (come ad esempio Berna) dove si preferisce ricorrere all'ozonizzazione, benché assai più costosa.

L'inconveniente più grave si ha quando nell'acqua sono presenti derivati del fenolo, i quali si combinano col cloro, dando origine al clorofenolo, il cui stomachevole sapore è nettamente percepibile a concentrazioni di 0,2 g/l.

LA TORBIDITA' delle acque è dovuta alla presenza di sostanze solide sospese costituite da particelle finissime, incapaci di sedimentare in un tempo ragionevolmente breve. La determinazione del valore di torbidità vien fatta normalmente sul campione mediante apparecchi detti "nefelometri" nei quali una cellula fotoelettrica misura l'assorbimento della luce da parte delle suddette particelle. La torbidità dell'acqua può essere provocata da cause naturali, come le piene dei fiumi che trascinano finissimi detriti silicei, oppure dallo scarico di liquami di varia origine contenenti sostanze sospese, o anche dal versamento di sostanze nutritive, e conseguente disordinata crescita di alghe. La presenza di torbidità in un corpo d'acqua è nociva soprattutto per l'intercettazione della radiazione solare, che compromette il regolare svolgimento della fotosintesi clorofilliana.

1.3.2 Parametri caratteristici dell'acqua

Le caratteristiche chimiche e fisiche delle acque variano in funzione della loro provenienza. Per i fiumi, le acque sotterranee e i laghi la concentrazione ed il tipo di sostanze presenti dipenderanno dal tipo di terreno e dalla presenza di insediamenti abitativi, attività industriali ed agricole. L'acqua, nel suo moto di scorrimento, esercita un'azione di trascinamento sulle particelle solide; inoltre, la sua azione solubilizzante, esaltata dalla presenza di CO₂ disciolta, determina la presenza di ioni in soluzione, come solfati, bicarbonati, silicati, cloruri, calcio, magnesio, ecc... Ben più pesanti sono, invece, gli effetti della presenza dell'uomo, che utilizza i corpi idrici sia per l'approvvigionamento delle acque grezze che per il recapito finale delle acque usate, assieme a tutte le sostanze che esse contengono, come sostanze biodegradabili, composti dell'azoto e del fosforo, ma anche pesticidi, metalli pesanti ed altre sostanze tossiche. Le sostanze contenute nelle acque, estremamente variabili per tipo e quantità in base alla loro provenienza, possono essere classificate nei seguenti gruppi:

- SOLIDI SOSPESI : Colloidi, sospesi organici e sospesi inorganici;
- SOLIDI DISCIOLTI: Sostanze inorganiche e sostanze organiche;
- FORME VIVENTI: Forme superiori e microrganismi;
- GAS DISCIOLTI.

Il problema sostanziale della qualità dell'acqua, da sottoporre a processi di potabilizzazione, sta nel ricordare il momento della diagnosi con quello della cura e prevenzione. È necessario identificare e quantificare tutte le possibili conseguenze, con implicazioni igienico-sanitarie, a medio e lungo termine,

al fine di realizzare tutti quei trattamenti di sicurezza e quei provvedimenti atti a ridurre tutte le possibili conseguenze di rischio per l'uomo entro limiti ragionevolmente possibili. La normativa vigente, carente per le acque di sottosuolo e sorgenti, ha fronteggiato il progressivo crescente inquinamento delle acque superficiali con l'adozione di processi di potabilizzazione che consentono di trasformare in acqua potabile le acque superficiali appartenenti alle categorie A1, A2 e A3, individuate dal Dlgs 152/99 *“Decreto legislativo recante disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole”*.

1.4 La potabilizzazione dell'acqua

Quando l'esame igienico di un'acqua dimostra che essa è impropria per qualsiasi motivo al suo uso diretto come acqua potabile, occorre procedere alla sua correzione o alla sua depurazione, oppure ad entrambe le operazioni. Con il termine “correzione” si intende l'insieme dei procedimenti aventi lo scopo di migliorare i caratteri organolettici, fisici e chimici di un'acqua, mentre la parola “depurazione” indica l'insieme delle operazioni atte a purificare le acque dal punto di vista batteriologico. Tali operazioni avvengono negli impianti di potabilizzazione. Ne esistono di due tipi: gli impianti di filtrazione, in cui le acque sono soggette ad un insieme di processi depurativi, e quelli in cui avviene la sola disinfezione. Generalmente il processo di conversione delle acque grezze in acque potabili avviene attraverso una sequenza di stadi, ognuno dei quali è specializzato nella rimozione di una particolare classe di sostanze. Avremo così lo stadio di rimozione dei solidi sospesi, quello di riduzione dei sali indurenti, quello di eliminazione dei microrganismi e così via. Teoricamente oggi è possibile trattare tutti i tipi di acque: infatti le tecniche sono talmente affinate che è possibile eliminare ogni sorta di impurezza. Il problema consiste nel trovare la soluzione economicamente accettabile, tenuto conto delle caratteristiche delle fonti di approvvigionamento a disposizione e dei requisiti da raggiungere. Gli impianti di potabilizzazione sono generalmente ubicati presso le opere di presa o al termine della condotta adduttrice e il loro posizionamento deve avvenire su un terreno che topograficamente permetta di sfruttare il moto a gravità per il passaggio delle acque da un trattamento al successivo, così da ridurre il più possibile il consumo di energia elettrica.

La potabilizzazione dell'acqua (o purificazione dell'acqua) consiste nella rimozione delle sostanze contaminanti dall'acqua grezza, proveniente da invasi artificiali. Per ottenere acqua potabile che sia pura abbastanza per il normale consumo domestico o per usi industriali, la potabilizzazione viene applicata a monte delle reti di adduzione idrica, facendo passare tali acque attraverso svariate tipologie impiantistiche di rimozione del materiale organico ed inorganico, attraverso metodi fisici, chimico-fisici e biologici in base al tipo di sostanza da eliminare dal flusso in ingresso all'impianto.

Il fatto che l'acqua sia per natura un solvente rende alquanto problematica l'efficace eliminazione di moltissime sostanze indesiderate.

Le sostanze principalmente rimosse durante il processo comprendono parassiti come Giardia, batteri, alghe, virus, funghi, alcuni minerali (incluso alcuni metalli pesanti), e alcune sostanze chimiche inquinanti

prodotte dall'uomo. In generale la depurazione delle acque viene realizzata per:

- migliorare sapore, odore e colore,
- diminuire la durezza,
- rimuovere nutrienti quali azoto e fosforo,
- ridurre il BOD, COD e TOC,
- rimuovere solidi sospesi e sedimentabili,
- rimuovere patogeni tramite disinfezione.

A valle dei processi di potabilizzazione vengono abitualmente impiegati i cloratori. Si tratta di pompe dosatrici di cloro, solitamente sotto forma di ipoclorito di sodio, che erogano quantità di cloro dosate per corrispettivi volumi di acqua in transito. Hanno l'importantissima funzione di rendere igienicamente sicura l'acqua immessa in distribuzione. Infatti, nelle zone dove l'acqua non viene clorata, spesso si trasmettono pericolose infezioni batteriche, che causano frequentemente la dissenteria. Per *cloro-richiasta* si intende la quantità necessaria di cloro per una completa depurazione dell'acqua. Il cloro (in quantità troppo elevate) fornisce all'acqua sapore e odore sgradevoli e può danneggiare l'apparato digerente. Quindi è necessario eliminarlo dopo che ha svolto la sua azione. Il procedimento per il suo allontanamento consiste nel far passare l'acqua dal basso verso l'alto attraverso un filtro di sabbia per farla cadere su delle lastre per dividerle in gocce sempre più piccole. Contemporaneamente si insuffla aria purificata per sostituire il cloro con i gas dell'aria che non danno inconvenienti; oppure si aggiunge dell'ammoniaca per ottenere clorammine (NH_2Cl , NHCl_2 , NCl_3), sostanze insapori ed innocue che svolgono un'azione batteriologica senza alterare troppo le caratteristiche organolettiche dell'acqua. In alternativa è possibile trattare l'acqua depurata attraverso l'irraggiamento con lampade UV; questo trattamento è efficace nel rimuovere germi patogeni a condizione che l'acqua sia sufficientemente limpida, e perciò i raggi luminosi possano permearla completamente. Il trattamento con raggi UV quindi viene utilizzato soventemente o come post-trattamento per liquami pre-trattati con processi biologici subito prima di essere immessi in distribuzione, oppure al punto di consumo, altrimenti non impedisce che successivamente l'acqua venga nuovamente contaminata. Può essere anche sfruttata l'azione microbica dell'ozono, ma i costi superiori ne limitano l'utilizzo. La scelta del "ciclo di potabilizzazione" e quindi la definizione dello "schema di funzionamento" dipendono dalle caratteristiche naturali e di contaminazione dell'acqua. Uno stesso trattamento può svolgersi impiegando tecniche e mezzi operativi diversi, che consentono ugualmente di raggiungere le finalità preposte.

La molteplicità dei mezzi operativi esistenti permette svariate combinazioni, ma la sequenza del trattamento si riassume in:

- trattamento fisico
- trattamento chimico
- trattamento chimico – fisico
- trattamento biologico

Premesso che la sequenza delle varie fasi del trattamento deve adeguarsi al problema specifico da risolvere e che tale sequenza viene scelta sulla base delle analisi dell'acqua grezza e della loro interpretazione, è ovvio

che non si può stabilire aprioristicamente uno schema di trattamento per la potabilizzazione delle acque. A titolo indicativo si propone il seguente schema generale :

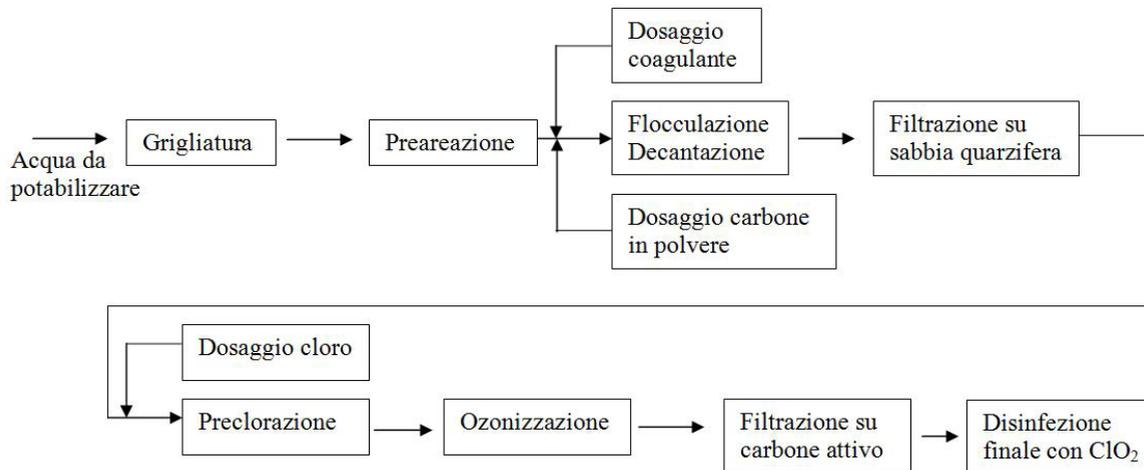


Figura 1.2: Schema generale dei trattamenti di potabilizzazione

Il trattamento tradizionale di potabilizzazione consiste nelle seguenti fasi:

- Grigliatura: si realizza la separazione dei corpi solidi più o meno grossolani dall'acqua, può essere seguita dalla microstacciatura qualora nell'acqua siano presenti microalghe che, successivamente, intaserebbero i filtri. Con questo procedimento le alghe vengono ridotte del 70%.
- Preareazione: si effettua con turbine superficiali, che arricchiscono l'acqua di ossigeno fino ad oltre il valore di saturazione.
- Addizione di coagulante: le sostanze colloidali vengono agglutinate. La carica batterica e le sostanze organiche vengono ridotte.
- Flocculazione e decantazione: è il processo con il quale si eliminano dall'acqua le sostanze coagulate e flocculate. Con la flocculazione si può eliminare fino al 90% dei virus presenti nell'acqua.
- Filtrazione su sabbia quarzifera: le sostanze sfuggite alla sedimentazione vengono trattenute dai filtri a sabbia quarzifera.
- Preclorazione: ha il compito di abbassare la carica batterica e di eliminare l'ammoniaca. Non ha azione sull'abbattimento di fenoli, idrocarburi aromatici policiclici, pesticidi e tensioattivi.
- Ozonizzazione: è un processo di affinamento della qualità dell'acqua mediante ossidazione. L'ozono inoltre disattiva i virus, e oltre a possedere azione decolorante e deodorizzante, riduce la concentrazione degli aloformi e innalza fortemente il valore redox dell'acqua.
- Filtrazione su carbone: è un processo di affinamento della qualità dell'acqua mediante adsorbimento. Con adeguate velocità e concentrazioni di micro-contaminanti costanti nel tempo si può ridurre la contaminazione a valori bassi. Gli aloformi dopo pochi giorni perforano il filtro e i tensioattivi inglobano il carbone attivo riducendone il potere adsorbente. Con la combinazione ozono-carbone

attivo si superano questi due inconvenienti. Il carbone attivo inoltre possiede azione decolorante e migliora l'organolessi.

- Clorazione finale con biossido di cloro: il biossido di cloro, alle concentrazioni necessarie per la cloro-copertura (massimo 0,5 mg/l), non provoca sapori e odori sgradevoli e permane molto a lungo nell'acqua, inoltre non reagisce con le sostanze organiche e quindi non forma aloformi, clorofenoli, ecc...

Capitolo 2

CASO DI STUDIO: LA POTABILIZZAZIONE DELLE ACQUE PROVENIENTI DALL'INVASO DEL CAMASTRA

2.1 Invaso del Camastra

La diga del Camastra si apre nella vallata tra Trivigno, Anzi, Laurenzana e Albano di Lucania, in località Ponte Fontanelle, ed è uno sbarramento artificiale del torrente Camastra, affluente del fiume Basento.



Figura 2.1: Diga del Camastra

Quest'invaso artificiale, che sottende un bacino imbrifero di 350 Km², ha una profondità di 54 metri ed è posto ad una quota di fondo alveo pari a 495.00 m s.l.m.; ha una capacità utile di progetto di circa 32 milioni di m³ di acqua, ma a causa della tipologia del bacino, in cui è molto forte il fenomeno dell'interrimento, la sua capacità utile si è ridotta a 22 milioni di m³. La diga è stata costruita tra il 1962 e il 1970, realizzata in terra, zonata, con nucleo centrale impermeabile.

Quota di massima regolazione	536,50 m s.l.m.
Quota di massimo invaso	539,50 m s.l.m.
Volume di invaso utile	32,15 Mm ³

Tabella 2.1: Caratteristiche progettuali invaso del Camastra

Le opere di scarico presenti nell'invaso sono:

- lo sfioratore superficiale a soglia fissa di lunghezza pari a 40 m capace di smaltire una portata massima di 400 m³/s;
- lo sfioratore a calice (Figura 2.2) capace di smaltire una portata massima di 300 m³/s;
- lo scarico di mezzofondo, regolato da quattro paratoie in parallelo a strisciamento tipo saracinesca e proporzionato per una portata massima di 185,40 m³/s;
- lo scarico di fondo, regolato da una coppia in serie di paratoie a strisciamento tipo saracinesca e proporzionato per una portata massima di 70,60 m³/s.



Figura 2.2: Sfiatore a calice della diga

L'acqua prelevata dall'invaso del Camastra, sollevata e potabilizzata, va ad integrare le disponibilità idriche a servizio di Potenza e di altri 20 comuni: Acerenza, Albano, Banzi, Brindisi di Montagna, Campomaggiore, Cancellara, Castelmezzano, Forenza, Genzano di Lucania, Irsina, Maschito, Oppido Lucano, Pietragalla, Pietrapertosa, Pignola e Rifreddo, San Chirico Nuovo, Tolve, Tricarico, Trivigno e Vaglio di Basilicata.

2.2 Impianto di Masseria Romaniello

L'impianto di potabilizzazione di Masseria Romaniello (Figura 2.3), ubicato nel territorio del comune di Potenza, è stato realizzato dall'Ente Autonomo per l'Acquedotto Pugliese in due lotti, il primo costruito tra il 1983 e il 1986 entrato in funzione nel 1986, il secondo invece tra il 1989 e il 1991 entrato in esercizio proprio nel 1991.



Figura 2.3: Impianto di potabilizzazione di Masseria Romaniello

L'impianto, che deve il suo nome alla località in cui è situato a 930 m s.l.m., potabilizza le acque derivanti dall'invaso del Camastra. L'acquedotto del Camastra è stato realizzato per integrazione idrica dell'acquedotto del Basento secondo le previsioni del Piano Regolatore Generale degli Acquedotti della Basilicata, delibera della Giunta Regionale n°5200 dell'8.09.1988 pubblicato dalla Gazzetta Ufficiale n°35 del 12.05.1989.

L'acqua da trattare viene addotta all'impianto di potabilizzazione mediante un impianto di sollevamento, costruito negli anni 1983-1985, che consente il prelievo delle acque dell'invaso. Il sistema di adduzione dell'acqua della diga comprende la torre di presa, la galleria di derivazione e l'insieme di manufatti che dalle bocche di presa convogliano l'acqua prelevata alla stazione di pompaggio a valle dello sbarramento.



Figura 2.4: Stazione di pompaggio

La torre di presa (Figura 2.5) è costituita da un cilindro di cemento armato alto circa 36 m, avente 6 bocche di presa allocate a varie altezze, approssimativamente ogni 5 metri a partire dal fondo.



Figura 2.5: Torre di presa

Il piede della torre si trova a 504 m s.l.m., mentre la ritenuta normale della diga è di 531,6 m s.l.m. Alla base della torre di presa ha origine una galleria a sezione policentrica di circa 30 m² di superficie e lunghezza pari a 520 metri, in essa è posta la tubazione di derivazione in acciaio del diametro di 2000 mm. A valle della diga, dove termina la galleria di derivazione, sono ubicati a quota 500 m s.l.m. la sottostazione elettrica di trasformazione e l'impianto di sollevamento vero e proprio, costituito da una condotta in acciaio lunga 24 km e del diametro di 850 mm. Nell'edificio di sollevamento sono installate 6 elettropompe, di cui due da 440 l/s e quattro da 200 l/s ciascuna, con motori elettrici rispettivamente da 3000 Kw e 1500 Kw. La portata massima sollevabile è di 1015 l/s alla prevalenza manometrica totale di 513 m. L'acqua in arrivo al potabilizzatore di Masseria Romaniello viene invasata in una vasca di accumulo a cielo aperto, avente una capacità pari a 40000 m³, che funge da bacino di sedimentazione in cui si depositano per gravità i solidi sospesi. L'impianto ha una capacità di trattamento pari a 1000 l/s ed è fornito di un sistema informatico e di una stazione di filtrazione su carbone granulare realizzata nel 2001 che permette il controllo dei sottoprodotti della disinfezione ai fini del D.Lgs 31/01 e il miglioramento delle caratteristiche organolettiche dell'acqua. Alla fine del processo di potabilizzazione, l'acqua trattata viene raccolta in un serbatoio coperto, da cui viene poi immessa nella rete acquedottistica che serve la città di Potenza e il suo hinterland.

2.3 Processo di potabilizzazione

Il processo di potabilizzazione dal punto di vista funzionale è rappresentato dal seguente ciclo tecnologico:

- pre-disinfezione;
- chiariflocculazione;
- filtrazione;
- disinfezione finale;
- trattamento fanghi.

L'acqua grezza che arriva all'impianto staziona nella vasca di accumulo (Figura 2.6) per diversi giorni, in quanto in essa sono presenti dei setti che costringono l'acqua a seguire un percorso più lungo al fine di aumentarne il tempo di residenza in vasca per poter eliminare la maggiore quantità possibile di solidi sedimentabili. Il livello massimo della vasca è di 450 cm, ma non viene quasi mai riempita oltre i 400 cm (Figura 2.7) .



Figura 2.6: Vasca di accumulo acqua grezza



Figura 2.7: Livello massimo capienza vasca di accumulo

La portata d'acqua in ingresso al trattamento è quantificata da un misuratore elettromagnetico ed è regolata da una valvola a farfalla. L'acqua passa dalla vasca di sedimentazione al bacino di testa del torrino che alimenta le linee di trattamento.

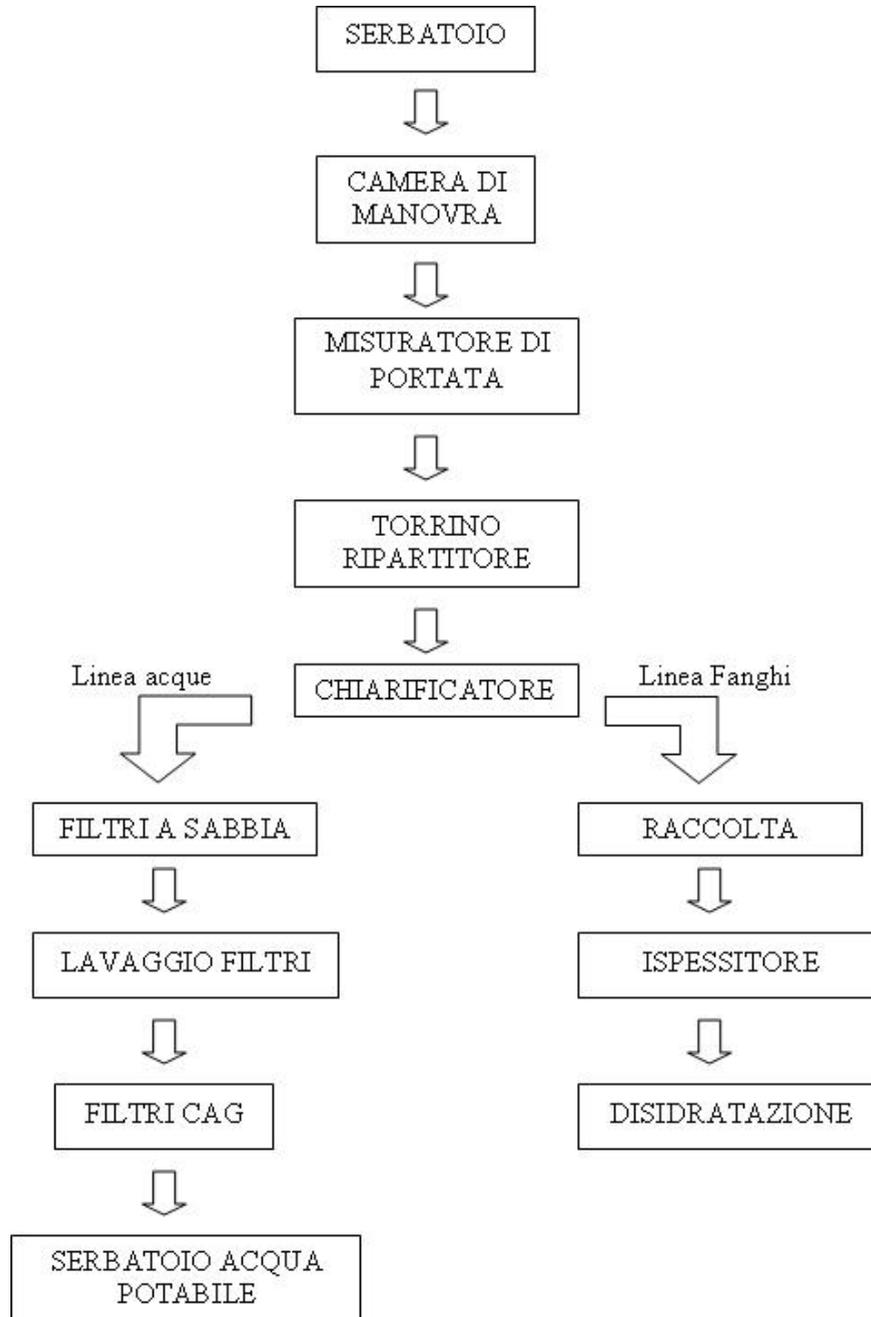


Figura 2.8: Schema funzionale del processo di potabilizzazione

2.3.1 Pre-disinfezione

L'acqua proveniente dalla vasca di accumulo, prima di confluire nel torrino di ripartizione, subisce un

trattamento di correzione del pH mediante l'insufflaggio di CO_2 . La regolazione del pH è importante per l'influenza che questo parametro ha nei confronti della coagulazione e della solubilità degli ioni.

Nel torrino ripartitore (Figura 2.9) l'acqua viene disinfettata con biossido di cloro (ClO_2), che ossida le sostanze organiche ed i microrganismi per evitare che proliferino nelle altre unità dell'impianto. Il torrino è detto "di ripartizione" perché è dotato di tre paratoie che dividono il flusso di acqua in entrata in tre parti, ognuna delle quali destinata ad un chiariflocculatore della capienza massima di 2700 m^3 d'acqua. Per aumentarne la flocculazione, in corrispondenza dei setti distributori del torrino avviene il dosaggio del flocculante primario: il policloruro di alluminio, un agente coagulante utile a destabilizzare i colloidali, responsabili della torbidità.



Figura 2.9: Torrino di ripartizione

2.3.2 Clariflocculazione

Dal torrino di ripartizione l'acqua giunge al chiariflocculatore dove avvengono tre processi distinti: coagulazione, flocculazione e sedimentazione o chiarificazione.

La chiariflocculazione ha la finalità di rimuovere le particelle colloidali (di dimensioni inferiori a $1 \mu\text{m}$) dotate per lo più di carica negativa che ne impedisce l'agglomerazione.

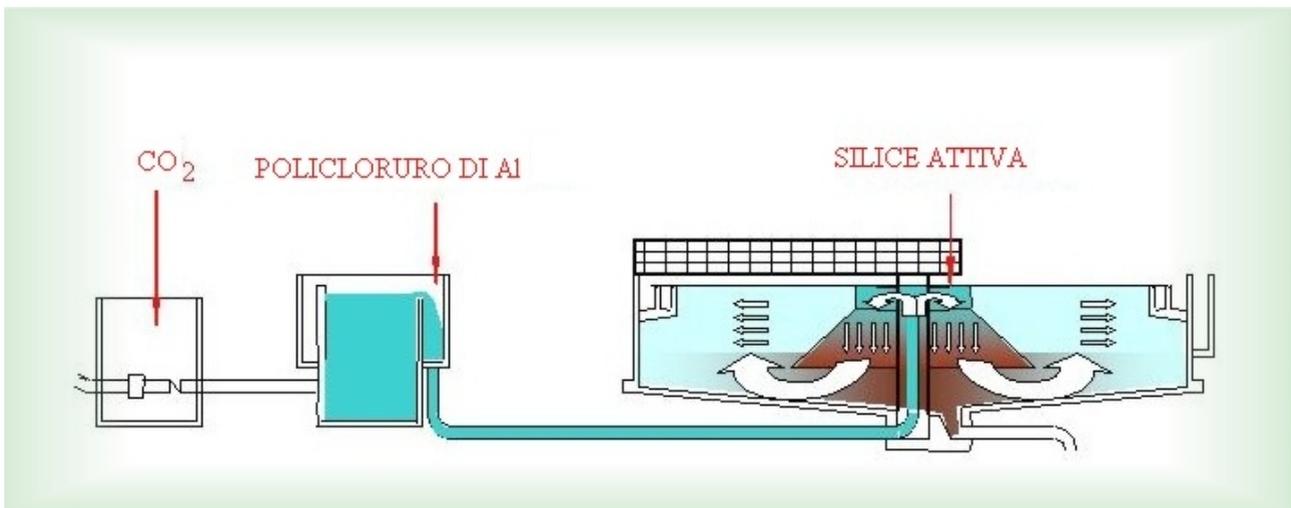


Figura 2.10: Processo di chiariflocculazione

Nella prima fase avviene la destabilizzazione della sospensione colloidale favorita dalla elevata turbolenza che permette il contatto reagente-colloidi. Nella fase successiva le particelle destabilizzate si aggregano formando fiocchi di fango; questo processo richiede una prima zona, ad elevata turbolenza per la collisione tra particelle che iniziano ad addensarsi, ed anche una seconda zona a bassa turbolenza, per l'accrescimento dei fiocchi. Nella fase di sedimentazione, detta anche chiarificazione, avviene la separazione per gravità dei fiocchi dall'acqua. Questo processo ha bisogno di condizioni laminari affinché il flusso dell'acqua non interferisca con le particelle in via di decantazione, e può avvenire in un unico o in distinti reattori.

Unità	3
Portata	1200 m ³ /h
Velocità ascensionale	2 m/h
Tempo di ritenzione	130 min
Superficie	616 m ²
Diametro	28 m
Volume	2600 m ³
Raschiafanghi	rotante a due bracci
Stramazzo	periferico doppio

Tabella 2.2: Caratteristiche progettuali chiariflocculatori

La prima particolarità relativa ai tre chiariflocculatori è che questi, a differenza della maggior parte degli impianti di potabilizzazione, si trovano in una struttura coperta (Figura 2.11), al riparo dalla contaminazione di acque meteoriche e/o altri agenti atmosferici.



Figura 2.11: Struttura di copertura chiariflocculatori

Inoltre, si tratta di chiariflocculatori “ a campana”, cioè dotati al centro di una campana di acciaio, all’interno della quale vi è la camera di reazione primaria. L’acqua perviene alla campana centrale, dove viene aggiunta come additivo di flocculazione la silice attiva che agevola la formazione dei fiocchi. Successivamente l’acqua attraversa la parte anulare di chiarificazione liberando dei fiocchi di fango e sfiora dagli stramazzi periferici ormai limpida (Figura 2.13).



Figura 2.12: Chiariflocculatore a campana



Figura 2.13: Sfioratore a pettine

Questa fase di trattamento comporta la produzione di fanghi che vengono scaricati ad intervalli predeterminati, in base alla produzione, ed inviati all'impianto di trattamento dove vengono disidratati, previo condizionamento con polielettrolita.

2.3.3 Filtrazione

L'acqua in uscita dalla sezione di chiariflocculazione è successivamente sottoposta al trattamento di filtrazione su letti di sabbia, con la finalità di eliminare i solidi sospesi ancora presenti. L'efficienza delle apparecchiature usate nei processi di chiariflocculazione e di sedimentazione non è mai del 100%; ciò comporta che una certa quantità di solidi sarà ancora contenuta nell'acqua. Per questo motivo si esegue la filtrazione che elimina i solidi sospesi residui. Il processo di filtrazione consiste nel passaggio da parte dell'acqua attraverso un supporto poroso (sabbia quarzifera con granulometria assortita) che trattiene parte dei solidi.



Figura 2.14: Letto a sabbia

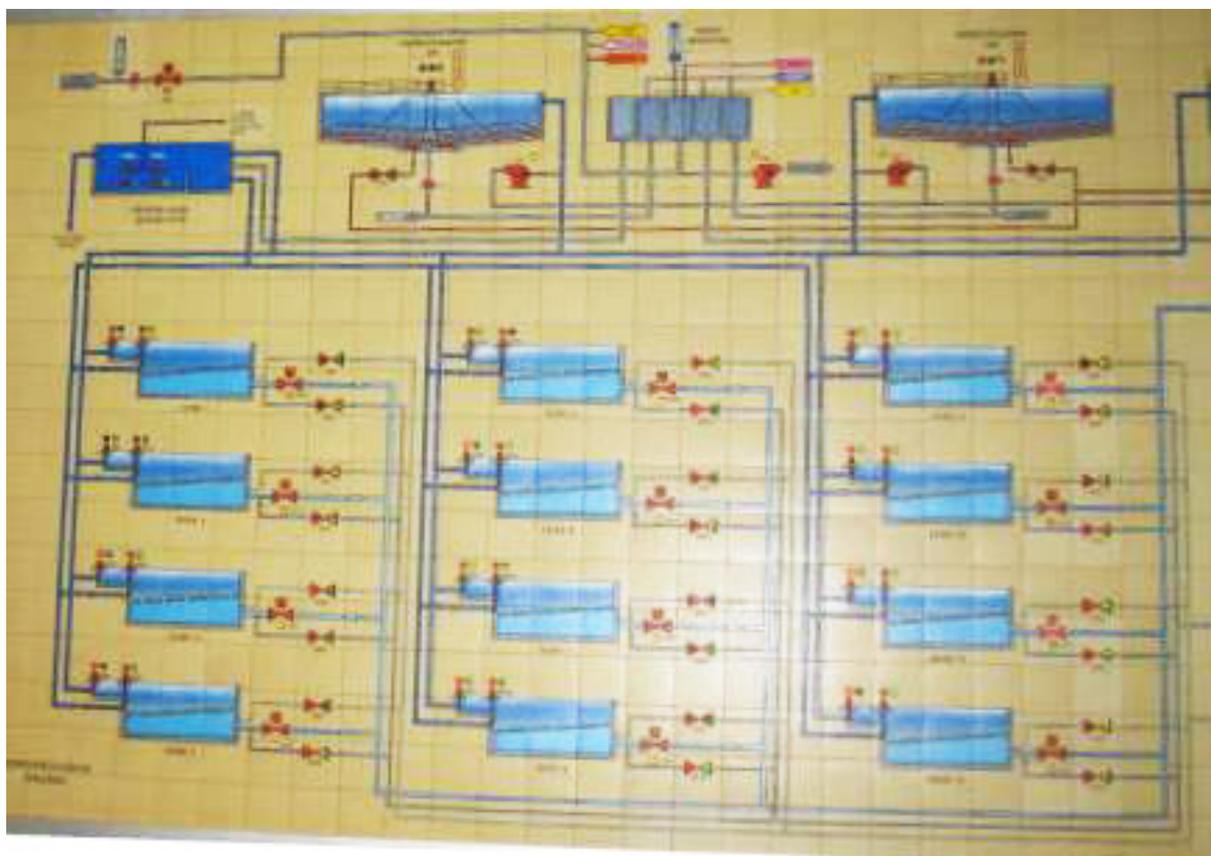


Figura 2.15: Particolare del quadro sinottico (letti a sabbia)

Unità	12
Portata	300 m ³ /h
Velocità di filtrazione	6 m/h
Superficie di filtrazione	50 m ²
Materiale filtrante	Sabbia
Dimensione	0,7-0,8 mm
Altezza strato	900 mm
Volume	45 m
Materiale di supporto	Ghiaia
Dimensione	2-3 mm
Altezza strato	100 mm
volume	5 m ³

Tabella 2.3: Caratteristiche progettuali letti a sabbia

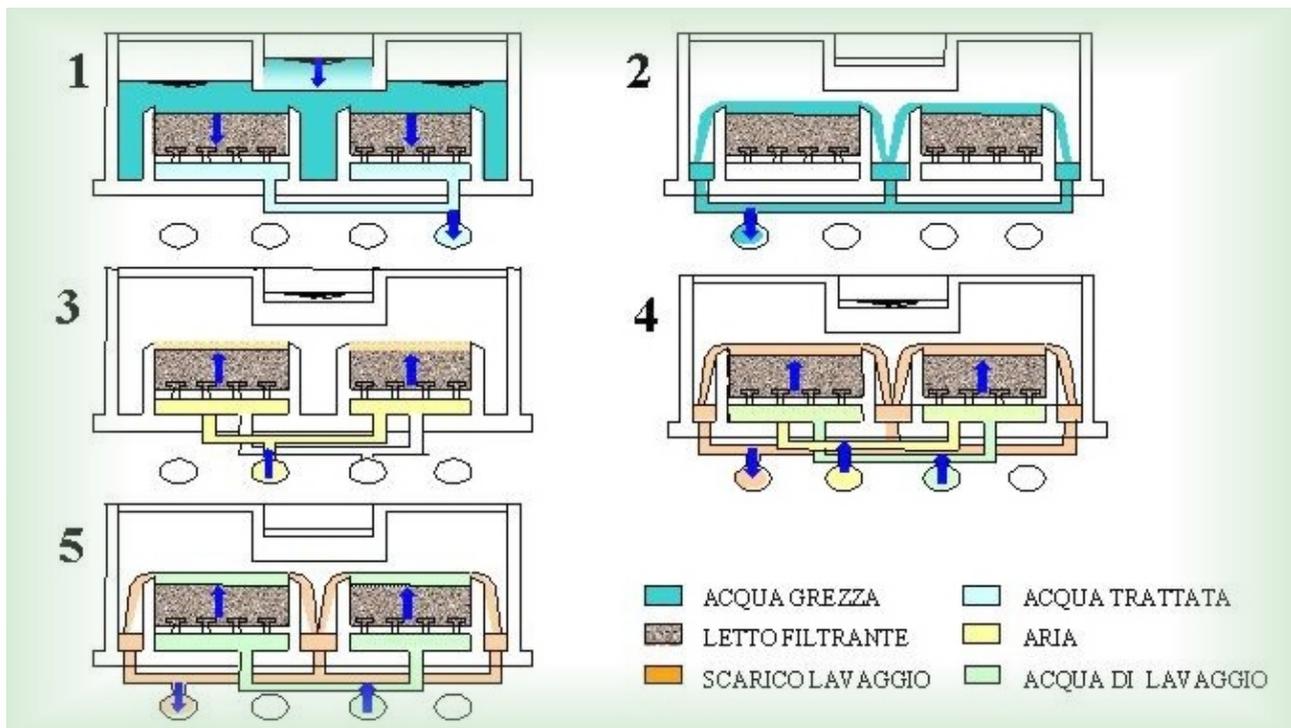


Figura 2.16: Processo di filtrazione con letti a sabbia

I letti a sabbia sono soggetti ad intasamento da parte delle particelle rimosse, pertanto periodicamente i filtri vengono lavati in controcorrente con aria e acqua già potabilizzata. Una volta puliti, i filtri tornano ad essere riutilizzati per un numero finito di cicli, raggiunto il quale non possono essere più rigenerati, ma sostituiti del tutto. Dopo la filtrazione sui letti a sabbia, l'acqua subisce un affinamento di trattamento su letti a carbone attivo, in cui il clorito viene ridotto a cloruro e vengono eliminati ulteriori elementi chimici indesiderati, quali, Trialometani (THMs) eventualmente presenti, cloroammine, solventi, olii, pesticidi e altre sostanze che provocano cattivi odori o sapori (Geosmina, M.I.B., Mercaptani, aldeidi, ecc.). I filtri a carboni attivi svolgono un'azione adsorbente di tipo chimico-fisico nei riguardi degli elementi trattenuti. Il carbone attivo è un materiale microporoso attivato in forni ad altissime temperature, può essere di natura vegetale o minerale e si può presentare sotto forma di granuli (Carboni Attivi Granulari). Nel caso specifico dell'impianto di potabilizzazione del Camastra l'unità di filtrazione è costituita da 16 filtri contenenti 35 m³ di carbone di cocco di granulometria variabile tra 8-30 Mesh. L'altezza del letto filtrante è di 3 m e l'area della superficie di contatto è pari a 1050 m²/grammo.

I filtri C.A.G. (Figura 2.17) vengono alimentati a gravità fino ad una portata di 600 l/s, mentre per portate d'acqua maggiori è necessario l'utilizzo di una pompa.

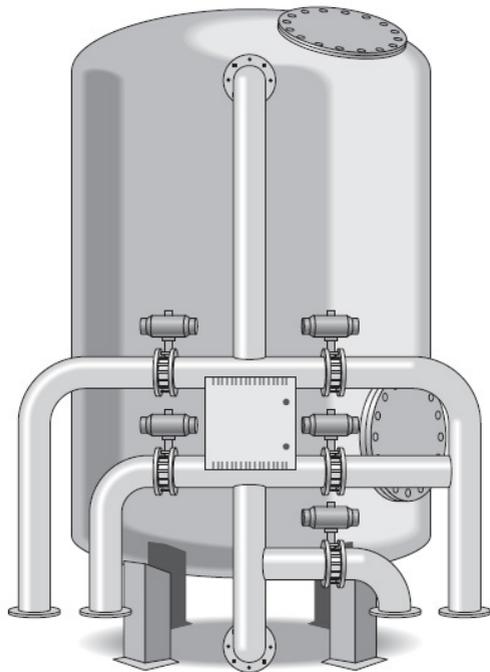


Figura 2.17: Serbatoi filtri a Carbone Attivo Granulare

La capacità di adsorbimento dei filtri C.A.G. dipende dalle sostanze che in essi vengono trattate; come i letti a sabbia, anche i carboni attivi perdono di efficacia dopo un certo periodo di trattamento e devono essere rigenerati. La batteria di filtri presente nell'impianto di Masseria Romaniello è stata messa in esercizio nel Marzo del 2002 e non è mai stata rigenerata, grazie alla qualità dell'acqua in ingresso ad essa e ad un accurato programma di lavaggio. La portata d'acqua in ingresso ai filtri è suddivisa equamente in quanto è importante che il tempo di contatto sia mantenuto uguale in tutti i filtri e sia il più alto possibile al fine di ottenere un migliore grado di adsorbimento.

2.3.4 Disinfezione

Dopo il trattamento con i filtri C.A.G., l'acqua viene clorata con ipoclorito di sodio (NaOCl), direttamente nella condotta di adduzione ai serbatoi di accumulo dell'acqua potabile, con un dosaggio idoneo a garantire a tutta la rete di distribuzione un contenuto di cloro residuo di 0.2 mg/l.

2.3.5 Trattamento fanghi

I solidi sedimentati nel fondo dei chiariflocculatori, convogliati dai raschiatori nelle tubazioni di scarico, pervengono ad un pozzetto di raccolta da cui, previo condizionamento con polielettrolita, vengono estratti

ed avviati all'unità di trattamento fanghi, costituita da due ispessitori a gravità (Figura 2.19-2.20) e due nastri presse (Figura 2.21-2.22). Negli ispessitori a gravità avviene la decantazione, che incrementa la concentrazione dei solidi dallo 0.5% al 2-3% in peso. Infatti, di solito, i fanghi, hanno un tenore d'acqua pari all'incirca al 97-98%. Da qui, i fanghi vengono trasferiti alla stazione di disidratazione, dove vengono resi ancora più compatti dalle nastropresse. La nastropressa prevede le seguenti fasi: riempimento delle camere, pressione dei fanghi con pompe, apertura ed espulsione del pannello di fango formatosi. Infine, i pannelli di fango fin qui ottenuti, attraverso un nastro trasportatore, vengono raccolti in bio-containers che, una volta riempiti, vengono portati in discarica.

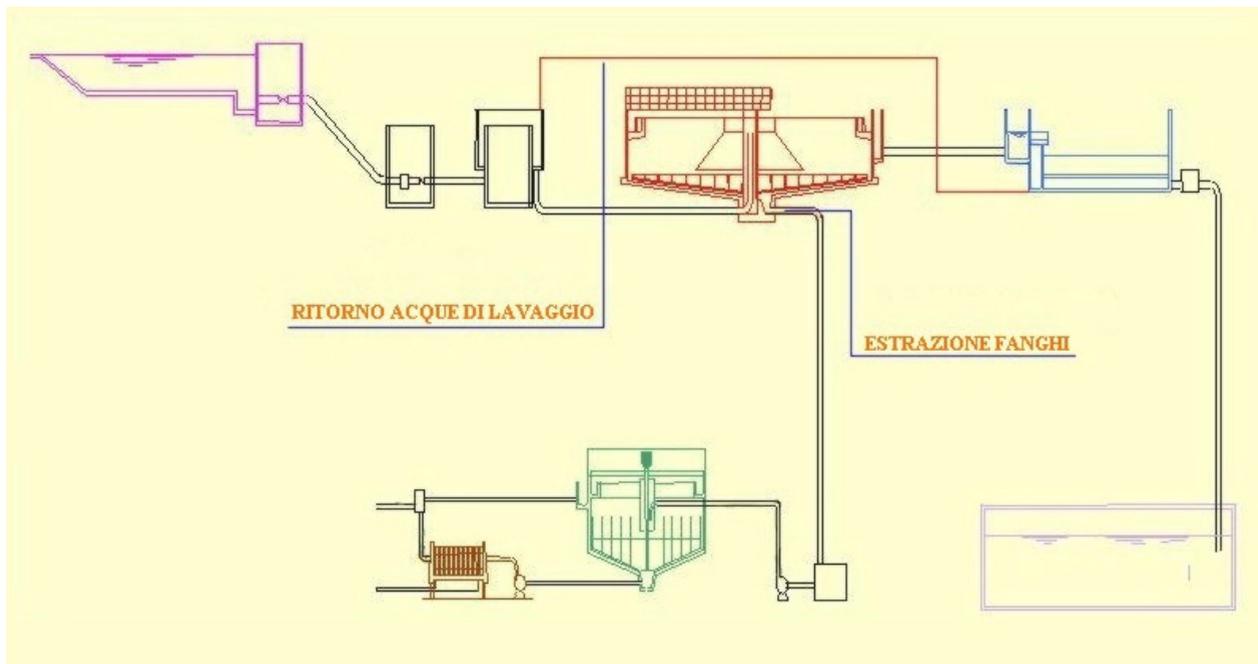


Figura 2.18: Schema processo trattamento fanghi

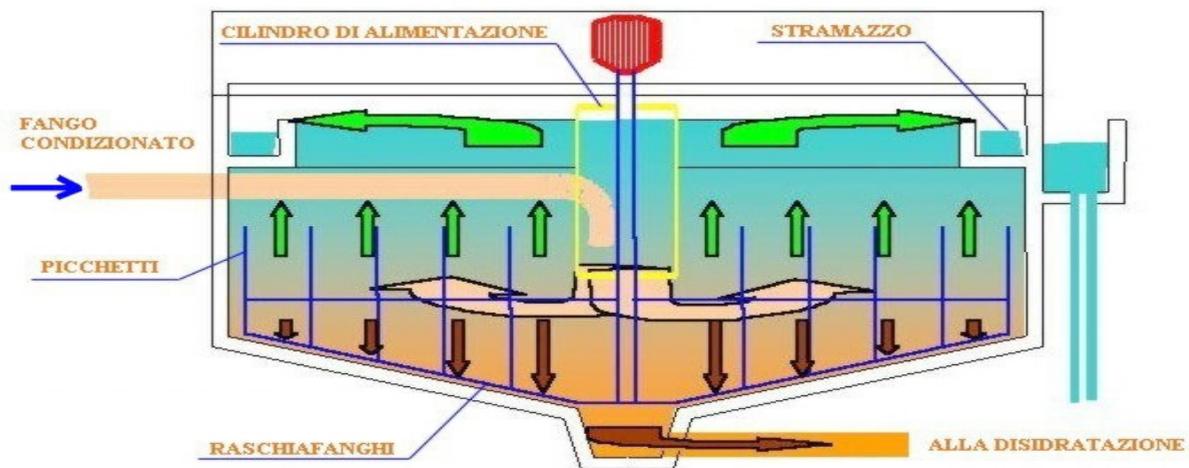


Figura 2.19: Schema ispessitore fanghi

Unità	2
Portata	15 m ³ /h
Altezza	3 m
Superficie	78,5 m ²
Diametro	10 m
Volume	240 m ³

Tabella 2.4: Caratteristiche progettuali ispessitore



Figura 2.20: Foto ispessitore fanghi

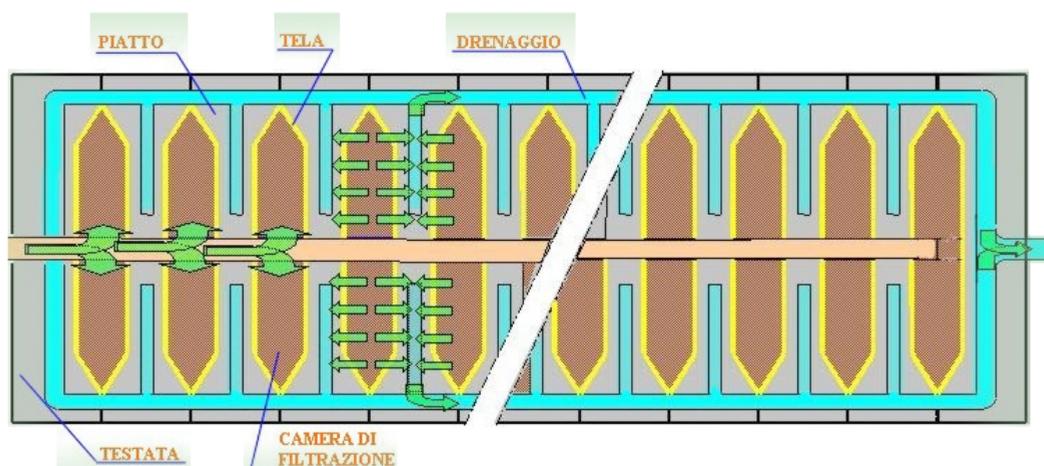


Figura 2.21: Schema nastro pressa

Unità	2
Piastre	50
Chiusura	idraulica
Pressione massima	15 bar
Superficie filtrante	30 m ²
Volume dei pannelli	0,3 m ³

Tabella 2.5: Caratteristiche progettuali nastropressa



Figura 2.22: Foto dettagli nastropressa

Capitolo 3

ANALISI STATISTICA MULTIVARIATA DELLE COMPONENTI PRINCIPALI

3.1 Analisi Statistica Preliminare

La statistica fornisce strumenti e metodi per organizzare, riassumere e rappresentare in modo significativo i dati raccolti, per evidenziare gli aspetti rilevanti ivi contenuti e descrivere quindi le caratteristiche della popolazione.

La statistica descrittiva si occupa dell'analisi dei dati osservati, prescindendo da qualsiasi modello probabilistico che descriva il fenomeno in esame e dal fatto che l'insieme dei dati sia un campione estratto da una popolazione più vasta o sia invece l'intera popolazione. Lo scopo basilare della statistica descrittiva è di ridurre il volume dei dati osservati, esprimendo l'informazione rilevante contenuta in tali dati per mezzo di grafici e indicatori numerici che li descrivono; inoltre, possono essere fatte indagini di tipo comparativo e si può verificare l'adattarsi dei dati sperimentali a un certo modello teorico.

Quando si raccolgono dei dati su una popolazione o su un campione, i valori ottenuti si presentano inizialmente come un insieme di dati disordinati; i dati che non sono stati organizzati, sintetizzati o elaborati in alcun modo sono chiamati dati grezzi. Mediante l'analisi statistica descrittiva è possibile organizzare e sintetizzare i dati in modo da poter evidenziare le loro caratteristiche importanti e individuare le informazioni da essi fornite. Si va quindi ad operare su una "matrice di dati" che raccoglie le osservazioni effettuate su n unità statistiche con riferimento a p variabili.

Per riassumere l'impatto di un determinato fenomeno su una generica popolazione è utile riuscire a sintetizzare le numerose informazioni a disposizione con misure tali da compendiarne le principali caratteristiche e fornire un'indicazione più facilmente utilizzabile, propriamente dette *indici statistici*.

3.1.1 Parametri statistici principali

La Media (μ) è l'indice statistico più utilizzato per la facilità di calcolo e per le proprietà di cui gode. Essa esprime la posizione globale di una distribuzione di frequenza.

Si definisce media aritmetica di N dati x_1, x_2, \dots, x_N la quantità

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

Nel nostro caso andremo a considerare uno stimatore corretto della media μ di una popolazione, che chiameremo **Media Campionaria** \bar{X} , il cui valore numerico rappresenta una stima puntuale di μ .

Uno stimatore puntuale è uno stimatore corretto per il parametro, quando il suo valore medio coincide con il valore del parametro da stimare per qualsiasi suo valore, ovvero

$$E(\bar{X}) = \mu$$

dove

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

La **Moda** di una distribuzione statistica di frequenza rappresenta il valore che compare con la massima frequenza. È un indice che sintetizza le modalità di un carattere qualitativo sconnesso rilevato su n unità statistiche.

La **Mediana** si definisce come la modalità associata all'unità statistica che si trova nella posizione centrale della distribuzione, quando le unità statistiche sono ordinate. Per il calcolo della mediana è quindi necessaria l'operazione preliminare di ordinamento delle n unità statistiche, successivamente si procede con il calcolo dell'unità statistica che si trova al centro della distribuzione. Se la taglia N del campione è pari la mediana è

$$m = \frac{1}{2} \left(x_{\frac{N}{2}} + x_{\frac{N+1}{2}} \right)$$

mentre se è dispari la formula da utilizzare sarà

$$m = x_{\frac{N+1}{2}}$$

La mediana è una misura della tendenza centrale per una distribuzione più robusta rispetto ad altri indici, in quanto non è influenzata da nessuna modalità estrema che potrebbe rappresentare un caso di anomalia. Dalle definizioni è chiaro che la media, la moda e la mediana consentono di valutare l'ordine di grandezza della variabile aleatoria e aiutano a localizzare la distribuzione, ovvero ad individuare attorno a quale valore si incentra la distribuzione stessa.

Lo **Scarto Quadratico Medio** o **Deviazione Standard** ha simbolo σ nel caso della popolazione ed s nel caso di un campione e rappresenta una misura dello scostamento dalla media, fornisce quindi un'idea della dispersione della variabile casuale intorno alla media.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

In statistica l'**Errore Standard** di una misura è definito come la stima della deviazione standard dello stimatore, cioè una misura della sua imprecisione. Se lo stimatore è la media campionaria di N variabili indipendenti con medesima distribuzione statistica, lo *standard error* è:

$$se = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

La **Varianza** (σ^2) è un indicatore di dispersione, in quanto è nulla solo nei casi in cui tutti i valori sono uguali tra di loro (e pertanto uguali alla loro media) e cresce con il crescere delle differenze reciproche dei valori.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\chi_i - \bar{\chi})^2}{N - 1}$$

Anche qui andremo a considerare uno stimatore puntuale corretto del campione X_1, X_2, \dots, X_N .

La **Varianza Campionaria** sarà quindi calcolabile con la seguente formula

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\chi_i - \bar{\chi})^2}{N - 1}$$

il cui valor medio

$$E(S^2) = \sigma^2$$

La **Curtosi** (γ_2) misura il “grado di appiattimento” di una distribuzione rispetto alla curva normale, cioè il grado di addensamento dei valori attorno alla media.

Una *curtosi positiva* ($\gamma_2 > 0$) indica che ci sono più valori agli estremi della distribuzione di quanto aspettato, quindi avremo distribuzioni piatte con code ampie, mentre nel caso di *curtosi negativa* ($\gamma_2 < 0$) saremo in presenza di curve appuntite con code piccole, cioè meno valori di quelli attesi agli estremi. L'indice γ_2 è uguale a zero nel caso di distribuzione normale o gaussiana.

$$\gamma_2 = \frac{\sum (\chi - \mu)^4}{N \sigma^4} - 3 \quad \text{(Formula di Fisher)}$$

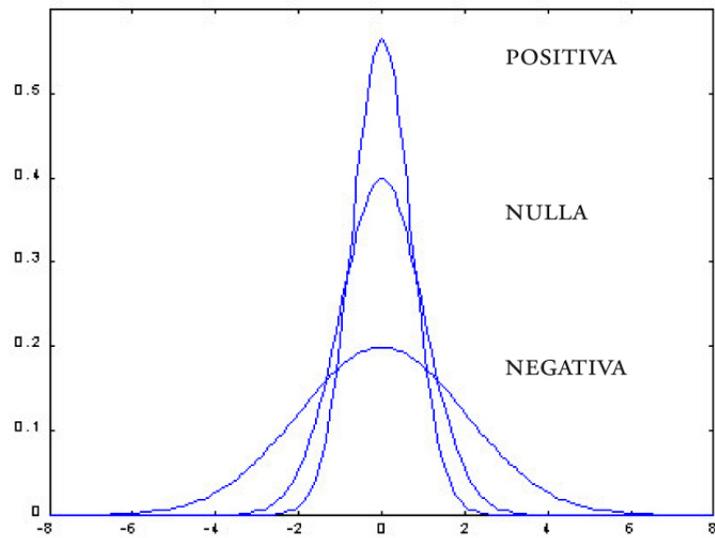


Figura 3.1: Distribuzioni con diversi gradi di curtosi.

La curtosi misura, insieme all'asimmetria, quanto una distribuzione sia simile o no alla distribuzione normale presa a modello da molte tecniche statistiche.

L'**Asimmetria** è un valore caratteristico che misura la simmetria di una distribuzione rispetto alla media e di conseguenza ne indica il grado di asimmetria intorno ad essa.

Può essere misurata confrontando gli indici di posizione più comuni, ad esempio la media e la mediana. Se la Mediana è minore della media la gran parte delle osservazioni si posiziona su valori bassi, ma alcuni valori particolarmente alti spostano la media verso destra: si parla in tal caso di *asimmetria positiva* (la distribuzione presenta una "coda" verso il semiasse positivo delle ascisse). Una distribuzione con *asimmetria negativa* ha invece una coda più lunga a sinistra del valore centrale. Valori assoluti di asimmetria maggiori di 1 indicano distribuzioni molto diverse da una distribuzione normale. Per indice di asimmetria nullo avremo che gli scarti negativi sono bilanciati da quelli positivi e quindi saremo in presenza di una distribuzione simmetrica, come nel caso normale o gaussiano.

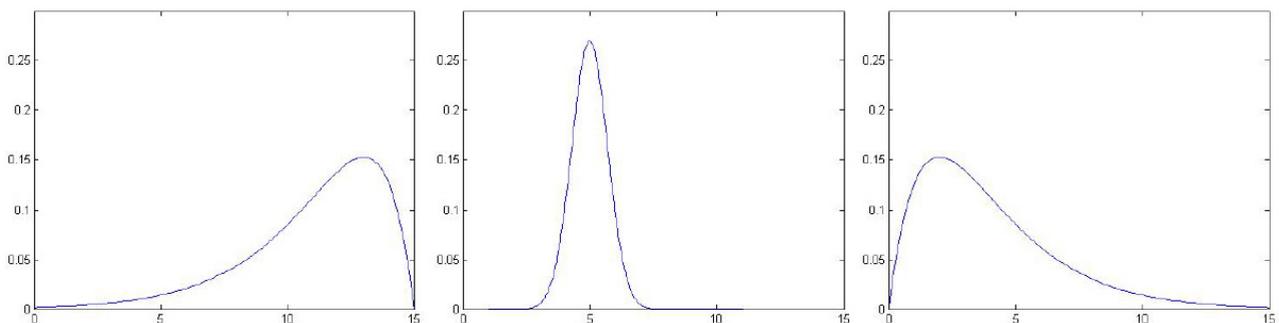


Figura 3.2: Distribuzioni con differenti coefficienti di asimmetria.

3.2 Analisi Statistica Multivariata o Multidimensionale

Quando in statistica succede di dover analizzare fenomeni descritti da tre o più variabili, l'analisi descrittiva diventa estremamente difficoltosa. L'Analisi Statistica Multivariata considera i fenomeni (biologici, clinici, fisici, economici, sociali, ecc.) nella loro interezza, tenendo quindi conto delle diverse caratteristiche che meglio servono a descrivere i fenomeni stessi: da tre o quattro variabili sino, in casi particolari, a diverse centinaia di variabili.

Per tale vocazione la Statistica Multivariata è orientata a fornire rappresentazioni più che a valutare test di ipotesi, anche se questi non mancano. Oltre a tale premessa non esiste una precisa definizione di statistica multivariata, né questa sarebbe condivisa unanimemente dagli addetti al lavoro.

L'analisi multivariata raccoglie una grande famiglia di tecniche matematico-statistiche che, come dice il nome stesso, consentono l'esame simultaneo di tutte le variabili caratteristiche di un set di dati. Grazie all'esame simultaneo di tutte le variabili, l'analisi multivariata consente una completa classificazione dei dati.

Per molti aspetti, l'analisi multivariata può essere considerata un'estensione sia della statistica monovariata che di quella bivariata (per alcuni sono invece queste ultime due da considerarsi riduzione della realtà multivariata). Per questo fatto, molti concetti e molte spiegazioni prendono spunto da esempi di situazioni bivariate, col vantaggio di ragionare su semplici grafici 2D.

L'analisi multivariata non ha soltanto scopi di classificazione, poiché sono possibili anche utilizzazioni di tipo modellistico, analoghe per finalità all'analisi di regressione multipla. In campo ambientale è intuitivo che l'approccio di classificazione è quello più applicato, in quanto consente di esaminare similitudini tra i dati.

Lo studio delle metodologie statistiche rivolte all'analisi congiunta di più variabili può essere fatto risalire ai primi anni del secolo con i contributi di Spearman e Pearson, anche se fu agli inizi degli anni '30 che Hotelling formalizzò i principi metodologici che diventarono le basi dell'analisi dei dati. A quel tempo la mancanza di adeguati strumenti di calcolo rappresentava un ostacolo alla piena diffusione di tali metodi, che si svilupparono in un contesto quasi esclusivamente teorico dando vita a quel filone di studi noto come Analisi Multivariata.

La scuola anglosassone utilizza il termine "analisi multivariata" per enfatizzare il ruolo delle molteplici variabili e delle rispettive distribuzioni osservate e teoriche, dando maggiore importanza all'inferenza statistica.

L'analisi multivariata si distingue dalla definizione francese di analisi dei dati, detta Analisi Multidimensionale, che si propone di evidenziare la struttura latente sottostante al sistema in esame tramite una riduzione della dimensionalità dello spazio di rappresentazione delle variabili o di quello delle unità statistiche, in modo che l'informazione strutturale estratta possa ritenersi ottimale in relazione ad un criterio prefissato.

Per diversi anni la contrapposizione tra la scuola anglosassone di analisi multivariata e la scuola francese di analisi multidimensionale fu molto aspra; il passar degli anni ha contribuito ad ammorbidire le posizioni e ad attenuare le distinzioni.

L'analisi multidimensionale a partire degli anni '80 si è mossa nella direzione di un bilanciamento tra i due approcci.

L'analisi multidimensionale dei dati consente:

- Il trattamento simultaneo di numerose variabili ed osservazioni,
- La visualizzazione di associazioni complesse,
- La riduzione del numero di variabili e di modalità osservate,
- La ricostruzione di tipologie di osservazioni,
- L'analisi di fenomeni evolutivi complessi,
- La validazione dei dati,
- L'identificazione di modelli.

Non si tratta, quindi, solo di *presentare* dei dati, ma di *analizzare*, *scoprire*, e a volte *verificare* o *rifiutare* determinate ipotesi. Le tecniche di analisi multidimensionale non hanno più la semplicità dei metodi di statistica descrittiva elementare, perché non si richiede più solo la semplificazione di una realtà complessa, ma anche l'esplorazione di una realtà nascosta. Infatti, la matematica dell'analisi multivariata è basata sull'algebra delle matrici, certamente più complessa della matematica incontrata nell'analisi univariata.

Particolare rilevanza assumono quindi la fase di preparazione e codifica dei dati, e la definizione di regole d'interpretazione e di validazione delle rappresentazioni fornite dalle tecniche utilizzate. Il punto di partenza è il sistema osservato, mentre particolare importanza assumono le conoscenze a priori che si fanno sul fenomeno indagato, in quanto possono condizionare la fase della raccolta dei dati. I dati vengono raccolti in tabelle (o matrici) e con l'ausilio di metodi di analisi multidimensionale si giunge all'analisi simultanea delle interrelazioni tra molte variabili correlate, con l'obiettivo di visualizzazione e interpretazione della struttura di vasti insiemi di dati. Il tipo di matrice in cui vengono raccolti i dati e il metodo di analisi è condizionato dalla natura degli stessi e dagli obiettivi che si intendono raggiungere. Se non si hanno particolari conoscenze sul fenomeno, la matrice sarà di tipo non strutturato e l'analisi sarà di tipo esplorativo, rivolta cioè allo studio delle relazioni tra l'insieme delle variabili e/o all'insieme delle unità. Se si hanno conoscenze preliminari la matrice sarà di tipo strutturato e l'approccio sarà di tipo esplicativo o confermativo. Tra i metodi esplorativi di base per l'analisi di variabili quantitative ricordiamo l'Analisi delle Componenti Principali.

3.3 Analisi delle Componenti Principali

L'analisi delle componenti principali (PCA, ovvero Principal Components Analysis) è uno dei primi metodi nati per il trattamento di dati multidimensionali quantitativi. Nasce con l'obiettivo di analizzare i dati tenendo conto della multidimensionalità. L'algoritmo della PCA fu sviluppato nei primi anni del XIX secolo, ma la tecnica ha cominciato ad essere intensivamente applicata soltanto dopo gli anni 70 a seguito della diffusione dei personal computer, in quanto la matematica connessa alla PCA richiede calcoli piuttosto complicati anche per matrici di dati aventi dimensioni ridotte. La caratteristica portante dell'Analisi delle Componenti Principali è la capacità di determinare similitudini tra campioni, indicando

simultaneamente anche le variabili che determinano similitudini o dissimilitudini. Lo scopo primario di questa tecnica è la riduzione di un numero più o meno elevato di variabili (rappresentanti altrettante caratteristiche del fenomeno analizzato) in alcune variabili latenti. Ciò avviene tramite una trasformazione lineare delle variabili che proietta quelle originarie in un nuovo sistema cartesiano in cui le variabili vengono ordinate in ordine decrescente di varianza: pertanto, la variabile con maggiore varianza viene proiettata sul primo asse, la seconda sul secondo asse e così via. La riduzione della complessità avviene limitandosi ad analizzare le principali (per varianza) tra le nuove variabili. La giustificazione teorica che sta alla base di questa analisi risiede nella possibilità di rendere “visibile” una nuvola di punti a p dimensioni, al fine di cogliere un qualche legame tra le variabili oggetto d’indagine. In un grafico bidimensionale o, al limite, tridimensionale è immediato cogliere l’esistenza o meno di un possibile legame tra le variabili. Quando, però, ci si sposta in ambiti dimensionali superiori a tre, i punti che definiscono le osservazioni non sono più rappresentabili in un piano e quindi occorre effettuare una riduzione dimensionale: ciò è possibile se tali punti a p dimensioni vengono proiettati in uno spazio bidimensionale. Dal momento che l’operazione di proiezione riduce le distanze originali, allora si massimizzano le proiezioni e si vincolano gli assi fattoriali, su cui si proiettano i punti, ad essere ortogonali tra loro. La proiezione tende a schiacciare i punti, rendendo le distanze proiettate più piccole di quelle nello spazio originario. L’obiettivo della PCA è rendere minima tale distorsione per tutte le coppie di punti e quindi definire un particolare piano in cui le distanze siano conservate il più possibile nella loro forma originaria e sia rappresentata al meglio la variabilità della nube dei punti osservati. L’Analisi delle Componenti Principali cerca di individuare nella nube dei punti (p -dimensionale) un sistema di assi ortogonali di riferimento, detti assi principali. In una matrice (n, p) , dove n sono le unità e p le variabili quantitative rilevate, la PCA si propone di determinare le *variabili di sintesi* che costituiscono la struttura di base delle relazioni osservate. Si ipotizza che tali variabili, dette **Componenti Principali (CP)**, siano legate linearmente alle variabili originarie (combinazione lineare delle variabili iniziali a mezzo degli assi principali o autovettori) e siano in numero minore di queste ultime, consentendo una riduzione dimensionale. Geometricamente le componenti principali sono assi che attraversano un set di dati multivariati, minimizzando la varianza delle vecchie variabili, cioè la distanza che si ottiene proiettando gli oggetti sugli assi delle nuove variabili. Il primo asse (o componente principale) giustificherà la porzione più grande di varianza e gli assi successivi saranno quelli che giustificheranno porzioni sempre più piccole della varianza. Un importantissimo aspetto è che ogni asse è comunque indipendente (ortogonale) dagli altri, quindi in termini strettamente matematici, ogni asse apporta un contributo “personale e indipendente “ alla varianza e quindi alla descrizione del sistema.

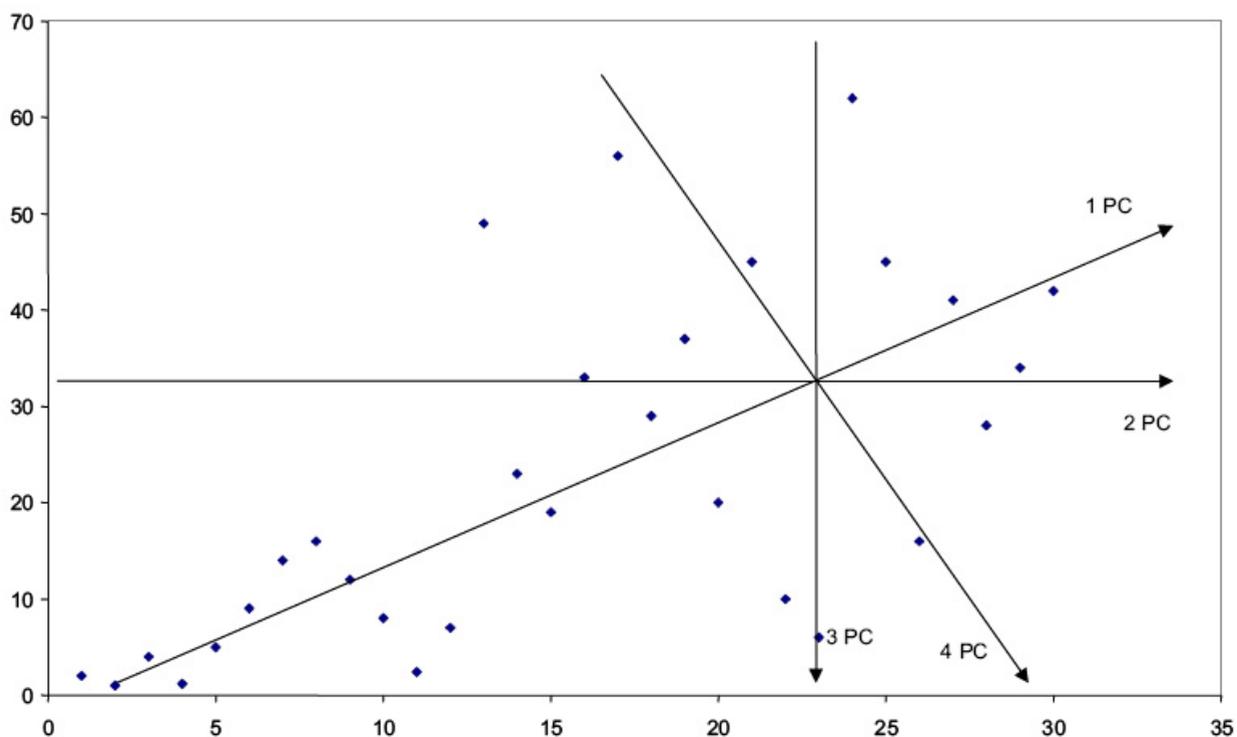


Figura 3.3: Spiegazione geometrica della PCA.

Ogni nuovo asse (componente principale) spiega una porzione della varianza totale del sistema.

3.3.1 Definizione e determinazione delle componenti principali

Come detto, l'Analisi delle Componenti Principali provvede a trasformare in modo lineare le variabili originarie in nuove variabili.

Data una matrice dei dati riferiti ad n individui e p variabili quantitative, si sintetizzano i dati, nel senso di pervenire ad una riduzione delle colonne della matrice dei dati X , definendo un numero q ($q < p$) di variabili artificiali. La riduzione del numero delle variabili consente alle volte più agevoli sintesi interpretative. Dal punto di vista geometrico, la matrice dei dati $X_{n,p}$ è rappresentabile come n punti nello spazio R_p . Si tratta di proiettare gli n punti in un sottospazio R_q , individuato in modo tale che la nuvola degli n punti in R_p sia deformata il meno possibile. Pertanto, con riferimento a p variabili, X_1, X_2, \dots, X_p (vettore casuale multivariato), la PCA consente di individuare altrettante p variabili (diverse dalle prime), Y_1, Y_2, \dots, Y_p (vettore multivariato), ognuna combinazione lineare delle p variabili di partenza. L'obiettivo della PCA consiste nel definire opportune trasformazioni lineari Y_i delle variabili osservate, facilmente interpretabili e capaci di evidenziare e sintetizzare l'informazione insita nella matrice iniziale X . Tale strumento risulta utile soprattutto allorché si ha a che fare con un numero di variabili considerevole da cui si vogliono estrarre le maggiori informazioni possibili pur lavorando con un set più ristretto di variabili. Per far ciò, come prima cosa occorre organizzare i dati da analizzare in una matrice X , avente per colonne i descrittori

e per righe gli oggetti. Gli oggetti possono essere campioni, stazioni di misura, o punti di campionamento, mentre i descrittori riportati lungo le colonne possono essere variabili, attributi o caratteristiche. Per una corretta applicazione della PCA è necessario che i descrittori siano di tipo quantitativo e che la loro distribuzione sia di tipo normale. Si assume, inoltre, che essi siano legati da relazioni lineari e che la matrice di dati non contenga un numero eccessivo di zeri.

Non sempre, però si ha la fortuna di trovarsi in presenza di una distribuzione di probabilità normale, perciò spesso occorre standardizzare le variabili e condurre l'analisi delle componenti principali non più sulle variabili originali bensì su quelle standardizzate.

La standardizzazione è un procedimento che riconduce una variabile aleatoria distribuita secondo una media μ e varianza σ^2 , ad una variabile aleatoria con distribuzione "standard", ossia di media zero e varianza pari a 1. La nuova matrice dei dati standardizzata conterrà i valori di z_i calcolati con la seguente formula:

$$z_i = \frac{(\chi_i - \mu)}{\sigma}$$

Le conseguenze di realizzare una PCA standardizzata sono:

- L'analisi inizia dalla matrice di correlazione delle variabili, piuttosto che dalla matrice delle varianze/covarianze. Il calcolo della prima implica la standardizzazione necessaria, per cui i dati devono essere prima divisi per la deviazione standard,
- L'ovvia conseguenza della standardizzazione è che tutte le variabili avranno varianza unitaria, quindi la varianza totale è p , cioè il numero delle variabili, proprio come la somma degli autovalori,
- Le componenti con varianza (autovalore) inferiore a 1 possono essere tranquillamente trascurate nell'interpretazione dei risultati della PCA. In questo caso una componente non apporta informazioni utili, poiché la sua varianza è inferiore a quella di qualunque variabile standardizzata.

Una volta standardizzati i valori delle variabili osservate, che avranno dunque varianza uguale a 1 e media uguale a 0, la i -esima componente principale (Y_i) può essere scritta come $Y_i = w_{i1}X_1 + w_{i2}X_2 + \dots + w_{ip}X_p$, dove X_1, X_2, \dots, X_p sono le p variabili originarie standardizzate e $w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{ip}$ sono i valori dei pesi associati a ciascuna di esse.

Per la ricerca delle componenti principali è necessario applicare trasformazioni lineari in grado di diagonalizzare la matrice di correlazione. La diagonalizzazione si ottiene con una rotazione delle coordinate nella base degli autovettori (componenti principali).

Sulla diagonale della matrice di correlazione si incontrano una serie di 1, che presuppongono l'esistenza di una perfetta correlazione di ogni variabile con se stessa.

La matrice che diagonalizza la matrice di correlazione è la *matrice degli autovettori*, mentre la matrice diagonalizzata si chiama *matrice degli autovalori*. Ad ogni autovettore è associato un autovalore a cui corrisponde la varianza della componente principale associata. Se le variabili originarie erano parzialmente correlate tra loro alcuni autovalori avranno un valore trascurabile. Gli autovettori corrispondenti possono

essere trascurati e la rappresentazione può essere limitata solo agli autovettori con gli autovalori più grandi. In pratica, risolvere il problema degli autovalori e degli autovettori significa trovare p assi principali della generica distribuzione multinormale a p -dimensioni. Ad ogni autovettore corrisponde un autovalore ben determinato, che rappresenta la varianza spiegata dalla nuova variabile.

L'autovalore l_i corrispondente all' i -esima componente principale si ottiene risolvendo il seguente calcolo matriciale: $(R - l_i I) a_i = 0$, dove R è la matrice di correlazione tra le variabili originarie, I è la matrice identità e a_i è l'autovettore formato dai coefficienti che determinando la i -esima componente principale come combinazione lineare delle variabili originarie. Gli autovettori e gli autovalori derivano da una soluzione iterativa.

Gli autovalori l_i forniscono l'informazione su come si ripartisce la varianza sugli assi principali, dove la percentuale di varianza spiegata dall' i -esimo asse principale è data da

$$P_i = \frac{l_i}{\sum_i l_i}$$

Come risultato dell'Analisi delle Componenti Principali si ottengono due matrici: la prima in cui sono riportati gli *score*, ovvero i coefficienti delle CP, e la seconda che contiene i *loadings*, ossia i pesi assegnati alle variabili originarie nella definizione delle componenti principali.

Per scegliere il numero di Componenti Principali sufficiente a riprodurre con buona approssimazione i dati di partenza si considerano solo le componenti principali corrispondenti agli auto valori, che sono in grado di spiegare circa l'80% della varianza dei dati. Pertanto, da p variabili mutuamente correlate si passa a q nuove variabili indipendenti (solitamente 3 o 4), che da sole riescono a spiegare la gran parte della variabilità totale.

Capitolo 4

ELABORAZIONE DEI DATI: RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1 Il campione dei dati

I dati oggetto di studio riguardano le concentrazioni di alcuni parametri fisici, chimici e batteriologici dell'acqua proveniente dall'invaso del Camastra. Tali acque, addotte all'impianto di potabilizzazione di Masseria Romaniello, sono sottoposte ad analisi chimiche e batteriologiche; in particolare, le analisi vengono effettuate sia sull'acqua in entrata che su quella in uscita. Nel caso in esame, l'attenzione si concentrerà solo sui dati dell'acqua in ingresso al trattamento di potabilizzazione, trascurando quelli dell'acqua trattata, che viene immessa nell'acquedotto, e la cui qualità è poco variabile nel tempo.

Nelle analisi chimico-fisiche alcuni parametri, quali *portata, conducibilità, pH, temperatura, ammoniaca e nitriti*, vengono monitorati due volte al giorno, mentre *alcalinità P e alcalinità M, durezza, ossigeno disciolto, calcio, magnesio e cloruri* sono determinati una sola volta al giorno. Infine i metalli (*bario, rame, ferro, piombo, cadmio, manganese, cobalto, nichel, cromo, sodio e potassio*) sono analizzati una o due volte al mese. Controlli più frequenti sono svolti sull'*alluminio*, sui *floruri* e sul *carbonio organico totale*.

Per quanto riguarda le analisi batteriologiche delle acque, i *coliformi totali e fecali*, gli *enterococchi* e le *colonie in agar a 37°C e 22°C* sono controllati due volte al giorno, gli *aeromonas* ed *escherichia coli* una volta al giorno, gli *anaerobi* ogni tre-quattro giorni, mentre gli altri parametri accessori normalmente una volta al mese. Naturalmente, qualora per uno o più parametri si riscontrasse un valore che si discosti troppo dalla media, le analisi su tale parametro vengono ripetute con maggiore frequenza, per verificare che le modifiche apportate al processo di trattamento risultino efficaci. I dati risultanti dalle analisi, sia per l'acqua grezza che per quella trattata, sono raccolti quotidianamente in tabelle e ogni mese sono puntualmente riassunti in una scheda (Figura 4.1), indicante la media mensile e il valore massimo e minimo registrato per ogni parametro.

ANALISI CHIMICA DELLE ACQUE

Valori Medie Mensili Agosto 2003		GREZZA			TRATTATA			Num. An
		min	med	max	min	med	max	
Portata	l/s	486	578	666	470	563	650	50
Torbidità	FTU	3,5	7,2	11	0,09	0,11	0,14	50
pH	pH	7,94	8,02	8,19	7,64	7,74	7,8	50
Conducibilità 20°	µS/cm	386	399	416	400	417	432	50
Temperatura acqua	°C	21,2	23,6	24,9	21,7	23,8	25,3	50
Alcalinità - P -	mg/ICaCO ₂	0	0	0	0	0	0	25
Alcalinità - M -	mg/ICaCO ₂	153	166	179	148	159	168	25
Durezza totale	mg/ICaCO ₂	169	180	192	169	180	191	25
Ossigeno disciolto	mg/IO ₂	6,1	6,9	8,5	7,1	7,8	8,7	38
Cloro - res. (met. DPD)	mg/ICl ₂				0,2	0,31	0,43	50
Calcio	mg/ICa ⁺⁺	44	49,8	56,8	44,8	50,1	58,9	26
Magnesio	mg/IMg ⁺⁺	12,2	13,6	15,1	11,7	13,5	14,8	26
Cloruri	mg/ICl ⁻	9,16	9,77	12	12,7	13,5	15,7	27
Ammoniaca	mg/INH ₄ ⁺	0	0	0	0	0	0	50
Nitriti	mg/INO ₂ ⁻	0	0	0	0	0	0	50
Nitriti	mg/INO ₂ ⁻	0,39	0,51	0,63	0,2	0,28	0,35	2
Ossidabilità	mg/IO ₂ cons.	1,52	1,94	2,2	0,68	0,87	1,04	25
Solfati	mg/ISO ₄ ⁻	47,3	47,8	48,2	45,1	46,6	48,1	2
Alluminio	mg/IAI ⁺⁺⁺	0,34	0,58	0,98	0,08	0,12	0,18	11
Clorito	mg/IClO ₂ ⁻				0	0	0	2
Clorato	mg/IClO ₃ ⁻				0,15	0,2	0,25	2
Fluoruri	mg/IF ⁻	0,21	0,21	0,21	0,19	0,19	0,19	2
Sodio	mg/INa ⁺		21,6			22,1		1
Potassio	mg/IK ⁺		2,8			2,7		1
Cromo	µg/ICr ⁶⁺		0			0		1
Ferro	µg/IFe ⁺⁺		164			5,2		1
Manganese	µg/IMn ⁺⁺		11,8			0,3		1
Triometani-Totale	µg/I THM				7,01	7,67	8,5	4
Bario	µg/IBa		36			33		1
Rame	µg/ICu		0			0		1
Cobalto	µg/ICo		0			0		1
Nichel	µg/INi		0			0		1
Cadmio	µg/ICd		0			0		1
Piombo	µg/IPb		0			0		1
Carbonio Org. Tot.	mg/IC	1,61*	2,05*	2,49*	0,95	0,97	0,98	2

*Campioni filtrati su 0,45µm
(Carbonio Organico Disciolto)

Figura 4.1: Esempio tabella riassuntiva analisi chimiche AQP

Questo lavoro di tesi è incentrato sull'analisi statistica dei dati raccolti dal 2002 al 2009 e relativi alla qualità dell'acqua dell'invaso del Camastra che viene successivamente potabilizzata nell'impianto di Masseria Romaniello.

Dalle schede riassuntive (Figura 4.1) dei dati relativi alle analisi chimiche e batteriologiche dell'acqua grezza, sono stati estrapolati solo i valori medi mensili, costruendo due matrici, una per ognuno degli otto anni considerati, aventi per righe i mesi dell'anno e per colonne rispettivamente i 31 parametri chimico-fisici ed i 13 parametri batteriologici esaminati.

Nelle tabelle dalla 4.1 alla 4.16 sono riassunti i dati di base utilizzati per lo studio statistico.

2002	Coliformi Totali [ufc/100ml]	Coliformi Fecali [ufc/100ml]	Enterococchi [ufc/100ml]	Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	Escherichia coli [ufc/100ml]	Aeromonas spp [ufc/100ml]	Alghe [N°/ml]	Attinomiceti [ufc/100ml]	Funghi [ufc/100ml]	Lieviti [ufc/100ml]	Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]
Genn	196,05	29,08	29,08	15,8	86,33	149,4	35,38	271	381,5	37	8,8	300	12
Febbr	73	2,1	1,5	21,67	52,14	11,64	1,82	87,67	682,9	67,6	23,6	300	18
Mar	132,3	4,3	2,6	19,1	51,2	91,6	4,5	113,6	521,6	28	9,2	300	12
Apr	301,9	34,4	24	8,8	102,5	180,6	28,4	392,2	710,2	23	9,25	262,5	29
Magg	181,7	5,6	1,69	4,3	24,3	49,7	2,32	500	736,4	35,8	26,3	300	40,5
Giu	95,6	2,27	0,6	1,33	10,88	19,77	0,87	419,1	968	29,2	13,2	300	13
Lugl	247,5	6,16	1,5	2,13	26,6	20,25	1,16	318,67	5081,5	41,7	15,4	300	3,6
Ago	452,9	8,5	1,79	4,25	28,68	71,89	3,58	431,63	12895	41	12	300	7,5
Sett	486,6	19,6	6,07	14,8	51,4	193,3	25,6	370,6	4691,2	42,6	14,3	300	9
Ott	488,26	55,3	19,33	10	48,06	117,28	50,22	460	1438,2	31	18	300	19
Nov	485	4,4	2,2	1,3	37,16	81,66	5,32	453	803,8	28	20	300	14
Dic	457,28	116,3	97,15	26,83	97,37	193,89	98,83	486,15	892,5	43,6	17	300	20

Tabella 4.2: Parametri Batteriologici relativi all'anno 2002

2003	Portata [l/s]	Torbidità [FTU]	pH	Conducibilità 20° [µS/cm]	Temperatura acqua [°C]	Alcalinità - P - [mg/l CaCO ₃]	Alcalinità - M - [mg/l CaCO ₃]	Durezza totale [mg/l CaCO ₃]	Ossigeno disciolto [mg/l O ₂]	Calcio [mg/l Ca ⁺⁺]	Magnesio [mg/l Mg ⁺⁺]	Cloruri [mg/l Cl ⁻]	Ammoniaca [mg/l NH ₄]	Nitriti [mg/l NO ₂ ⁻]	Nitrati [mg/l NO ₃ ⁻]	Ossidabilità [mg/l O ₂ cons]	Solfati [mg/l SO ₄ ⁻²]	Alluminio [mg/l Al ⁺⁺⁺]	Fluoruri [mg/l F ⁻]	Sodio [mg/l Na ⁺]	Potassio [mg/l K ⁺]	Cromo [µg/l Cr ⁺⁶]	Ferro [µg/l Fe ⁺⁺]	Manganese [µg/l Mn ⁺⁺]	Bario [µg/l Ba]	Rame [µg/l Cu]	Cobalto [µg/l Co]	Nichel [µg/l Ni]	Cadmio [µg/l Cd]	Piombo [µg/l Pb]	Carbonio Org.Tot. mg/l C	
Genn	311	34,6	8,29	408	8,68	1,65	180,2	197,6	9,4	58,9	12,15	10,69	0	0	1,23	3,3	30,24	4,37	0,14	18,9	2,67	4,9	385	12,7	24,5	14,2	0	0	0	0	0	4,88
Febbr	261,7	21,9	8,32	397,2	6,7	1,86	181,1	196,9	8,96	59,87	11,75	9,24	0	0	1,82	2,9	32,48	1,16	0,18	17,94	2,76	2,58	590	12,99	14,2	1,6	0	0	0	0	0	5,43
Mar	264	8,8	8,35	417	8,73	2,21	189	206	8,9	62,7	12,6	9,04	0	0	1,6	2,67	35,5	0,66	0,19	20,5	2,9	0	197	9,6	30	0	0	0	0	0	0	6,5
Apr	237	6,2	8,42	419	11,7	3	193	208	9,7	63,6	12,1	9	0	0	1	2,36	33,6	0,42	0,2	18,6	2,46	0	97	11,95	35	0	0	0	0	0	0	4,31
Magg	285	4,78	8,27	421	15,1	1,68	192	210	8,62	63,9	12,5	9	0	0	0,94	2,08	35	0,38	0,21	19	2,46	0	118,5	8,5	26	0	0	0	0	0	0	3,82
Giu	314	6,38	8,09	422	18,3	0	195	209	8,08	63	12,6	9,41	0	0	0,93	2,05	40,7	0,52	0,23	22,7	2,98	0	89	12	25	0	0	0	0	0	0	3,74
Lugl	478	6,02	8,06	403	23,3	0	174	188	7,76	53,7	13,3	9,39	0	0	0,43	1,76	44,3	0,59	0,21	22,22	2,95	0	27	17	25,5	0	0	0	0	0	0	3,1
Ago	578	7,2	8,02	399	23,6	0	166	180	6,9	49,8	13,6	9,77	0	0	0,51	1,94	47,8	0,58	0,21	21,6	2,8	0	164	11,8	36	0	0	0	0	0	0	2,05
Sett	621	9,4	8,18	391	20,9	0,69	155	174	8,28	47,6	13,4	9,48	0	0	0,25	1,92	46,6	0,64	0,24	22,6	2,88	0	268	2,6	38	0,6	0	0	0	0	0	2,08
Ott	602	9,51	8,18	399	16,8	0,39	164	182	7,71	51,2	13,4	10,5	0	0	0,22	1,56	46,1	0,69	0,2	21	3	0	530	35	38	0,6	0	0	0	0	0	2,39
Nov	618	10,9	8,22	418	13,7	0,57	174	195	7,9	56,6	13,2	11,2	0	0	0,36	1,73	51	1,03	0,2	21	3,16	0	205	54	50	0	0	0	0	0	0	2,41
Dic	582	14,3	8,22	417	9,7	0,58	172	197	8,4	57,5	12,74	11,12	0	0	1,44	2,02	50,64	0,76	0,2	14,3	2,46	0	130	25	111,4	0	0	0	0	0	0	2,43

Tabella 4.3: Parametri Chimico Fisici relativi all'anno 2003

2003	Coliformi Totali [ufc/100ml]	Coliformi Fecali [ufc/100ml]	Enterococchi [ufc/100ml]	Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	Escherichia coli [ufc/100ml]	Aeromonas spp [ufc/100ml]	Alghe [N°/ml]	Attinomiceti [ufc/100ml]	Funghi [ufc/100ml]	Lieviti [ufc/100ml]	Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]
Genn	482,56	79,64	62,96	18	129,1	230,76	70,92	473,64	613,86	59	16,5	300	23
Febbr	448	23,2	38,2	18,2	97,7	211,17	25,46	482,7	417,17	116	27,3	300	192
Mar	246,7	5,25	9,46	15,1	47,25	59,44	4,35	386,9	1287,8	144	18	260	22
Apr	172,28	2,68	0,45	11,29	23,23	40,55	1,78	412,64	4857,7	71,5	12	300	7
Magg	251,48	9,44	0,62	10,89	45,12	73,82	5,36	466,15	1852,5	33	5	300	6,5
Giu	363,5	5,77	1,56	8,13	25,08	118,1	5,83	476,25	2639	34,25	5,2	300	19
Lugl	437,24	41,1	3,89	6,67	27,89	55,74	86,52	493,4	1676,2	18,5	9	300	5
Ago	489,26	13,96	2,14	3	37,48	53,55	34,96	442,31	6809,5	19	5	300	5
Sett	495,25	29,67	8,54	4,63	39,25	42,85	25,88	451,15	6524,5	103	9	300	3
Ott	495,46	55,31	5,17	32,6	52,89	61,3	52,85	438,83	2549,4	22,6	3,6	140	5
Nov	462,5	32,42	0,56	37,8	38,23	73	29,13	416,3	2153,2	51	15,5	281,5	0
Dic	379,93	121,04	65,93	17,83	108,87	157,53	72,57	324,73	388,4	38	15	195	3

Tabella 4.4: Parametri Batteriologici relativi all'anno 2003

2004	Portata [l/s]	508	392	212	180	186	190	243	377	480	477	548	543
	Torbidità [FTU]	9,6	9,6	10,9	5,61	7,5	5,85	3,91	5,2	5	5,3	10,9	16,4
	pH	8,3	8,3	8,34	8,35	8,24	8,07	7,89	7,88	7,88	8,13	8,16	8,09
	Conducibilità 20° [µS/cm]	495	416	404	392	393	398	403	395	372	372	375	381
	Temperatura acqua [°C]	7,4	7	8,68	12,9	14,8	17,9	20,8	22,7	21,6	19,1	14,1	11,3
	Alcalinità - P - [mg/l CaCO ₃]	1,6	1,52	2,09	2,12	0,91	0	0	0	0	0,15	0,1	0,2
	Alcalinità - M - [mg/l CaCO ₃]	178	179	176	176	177	182	184	176	157	160	166	169
	Durezza totale [mg/l CaCO ₃]	205	203	197	193	192	194	194	185	169	173	180	189
	Ossigeno disciolto [mg/l O ₂]	9,15	9,2	8,85	8,8	8,3	7,25	6,77	5,7	6	5,8	6,29	8,5
	Calcio [mg/l Ca ⁺⁺]	61,45	60,5	59,7	59,46	58,9	59,7	59,9	54,9	47,9	49,6	52,3	55
	Magnesio [mg/l Mg ⁺⁺]	12,48	12,4	11,6	10,75	11	10,9	11	11,4	12	12	12,2	12,6
	Cloruri [mg/l Cl ⁻]	11,27	11,1	10,26	9,48	9,6	9,15	9,23	9,1	9,7	9,72	9,38	9,6
Ammoniaca [mg/l NH ₄]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nitriti [mg/l NO ₂ ⁻]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nitrati [mg/l NO ₃ ⁻]	3,83	3,21	2,8	2,91	1,55	1,47	1,59	0,77	0,35	0,22	0,68	1,4	
Ossidabilità [mg/l O ₂ cons]	2,22	2,27	2,33	2,03	2,37	2,51	2,58	2,34	1,92	1,98	2,29	2,7	
Solfati [mg/l SO ₄ ⁻²]	54,43	44,2	39,3	31,9	31,2	30,3	32,5	34	39,8	39,7	39	39,9	
Alluminio [mg/l Al ⁺⁺⁺]	0,85	1,47	1,64	0,47	0,82	1,57	0,34	0,33	0,37	0,37	0,81	1,11	
Fluoruri [mg/l F ⁻]	0,2	0,21	0,21	0,19	0,19	0,2	0,24	0,19	0,22	0,2	0,2	0,2	
Sodio [mg/l Na ⁺]	21,6	21,9	19,5	20,9	20,2	22	18,7	18,8	18,6	21	22,5	23,4	
Potassio [mg/l K ⁺]	2,8	2,6	2,45	2,45	2,4	2,24	2,6	2,4	2,4	2,7	2,5	3	
Cromo [µg/l Cr ⁺⁶]	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	2	2,3	
Ferro [µg/l Fe ⁺⁺]	123	354	428	224	119	54,5	23,9	109	71,5	100	50,5	96	
Manganese [µg/l Mn ⁺⁺]	24	21,5	44	14	2	23,6	24	20,2	20	36	40	54	
Bario [µg/l Ba]	45	26	104	26	34	30	18	39	31	17	28	24,5	
Rame [µg/l Cu]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cobalto [µg/l Co]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nichel [µg/l Ni]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cadmio [µg/l Cd]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Piombo [µg/l Pb]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Carbonio Org. Tot. mg/l C	3,42	4,39	4,01	3,88	2,37	3,47			2,94	2,01	3,07	2,35	

Tabella 4.5: Parametri Chimico-Fisici relativi all'anno 2004

2004	Coliformi Totali [ufc/100ml]	Coliformi Fecali [ufc/100ml]	Enterococchi [ufc/100ml]	Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	Escherichia coli [ufc/100ml]	Aeromonas spp [ufc/100ml]	Alghe [N°/ml]	Attinomiceti [ufc/100ml]	Funghi [ufc/100ml]	Lieviti [ufc/100ml]	Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]
Genn	264,08	48,6	51,6	21,63	109,33	201,81	42,92	362,82	1037,7	27	21	287,5	5
Febbr	151,58	10,02	14,44	14,13	101,48	233,96	7,33	298,73	1438,7	25,5	15	260	6
Mar	235,3	11,52	11,46	25,1	67,19	116,93	11,41	337,46	791,8	48,5	20,5	265	45
Apr	386,5	12,1	2,6	13,29	31,28	57,64	9,28	370,45	1927,5	29,3	14,67	278,3	5
Magg	434,5	20,3	3,78	19	23,7	53,02	15,04	482,8	2512	40	11,6	285	15
Giu	482,45	27,22	2,35	22,43	37,31	93,53	13,04	452,69	2342,6	28	9,3	276,6	5
Lugl	470,1	10,7	1,19	22,22	33,56	57,56	6,33	448,73	2657	35,33	11,66	300	3
Ago	460,7	12,83	0,4	7,78	23,75	24,81	11,6	460	3056,3	31,3	7	276,6	6
Sett	473,08	12,85	6,71	10,25	15,69	15,77	19,88	425,5	2323,2	32	7,6	290	7
Ott	478,52	11,04	61,72	34	33,02	48,56	22,22	359,52	1540,7	58	5,5	300	8
Nov	452,5	36,36	22,82	52,5	49,48	76	48,04	439,23	1852	45	9,6	276,6	21
Dic	462,76	63,78	48,98	9	82,14	139,8	59,36	445	1140	60	25	300	29

Tabella 4.6: Parametri Batteriologici relativi all'anno 2004

2005	Coliformi Totali [ufc/100ml]	406,4	73,1	71,9	18,4	110,17	174,6	81,29	435	679,46	130	25	300	57
Genn	Coliformi Fecali [ufc/100ml]	336,9	43,5	35,1	16,3	114,5	193,3	46,8	392,7	1051,7	137,5	17,5	300	55
Febbr	Enterococchi [ufc/100ml]	181,9	10	10,1	19,2	76,1	107,6	9,4	305,7	1006,6	124	19,5	300	194
Mar	Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	299,6	5,2	2,64	11,63	40,08	55,36	3,2	401,4	861,2	57	22	275	22
Apr	Escherichia coli [ufc/100ml]	417,9	2,8	0,56	12,13	21,82	37,88	2,92	447,78	3517,3	75,5	8	182,5	5
Magg	Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	448,8	2,36	1,16	13,86	35,8	96,76	2,08	426,15	3024,7	63	10,5	290	5
Giu	Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	472	4	2	13	31	47	8	397	2865	30	10	300	22
Lugl	Aeromonas spp [ufc/100ml]	448	5	1	17	27	43	14	345	2761	37	13	300	12
Ago	Escherichia coli [ufc/100ml]	461	7	143	8	20	22	14	411	4222	38	8	147	7
Sett	Enterococchi [ufc/100ml]	457	4	76	6	18	22	13	392	1864	95	5	250	4
Ott	Coliformi Fecali [ufc/100ml]	385	24	7	12	48	94	29	377	1335	29	2,5	280	2
Nov	Enterococchi [ufc/100ml]	487	119	63	31	118	107	112	454	1008,4	49	5	300	34
Dic	Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]													

Tabella 4.8: Parametri Batteriologici relativi all'anno 2005

2006	Coliformi Totali	Coliformi Fecali [ufc/100ml]	Enterococchi [ufc/100ml]	Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	Escherichia coli	Aeromonas spp [ufc/100ml]	Alghe [N°/ml]	Attinomiceti [ufc/100ml]	Funghi [ufc/100ml]	Lieviti [ufc/100ml]	Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]
Genn	339 ufc/100ml	51	34	25	56		39 ufc/100ml	371	623,9	53,3	10,6	286,6	33
Febbr	257 ufc/100ml	30	25	31	57		19 ufc/100ml	365	900,4	83,5	17,5	230	7
Mar	240 ufc/100ml	28	25	30	110		25 ufc/100ml	401	1170,3	40,5	12	290	25
Apr	64 ufc/100ml	4	2	12	47	60	3 ufc/100ml	402	834,4	42	9,5	300	4
Magg	371 MPN/100ml	4	2	31	45	98	3 MPN/100ml	413	2782,7	50	24	300	7
Giu	886 MPN/100ml	3	2	18	26	59	3 MPN/100ml	436	2157	51	16,6	300	4
Lugl	610 MPN/100ml	5	3	18	26	52	3 MPN/100ml	436	2530	34	13,5	270	14
Ago	1570 MPN/100ml	4	4	25	35	56	5 MPN/100ml	442	7028	18	10	300	0
Sett	691 MPN/100ml	3	1	14	26	42	5 MPN/100ml	442	2329	33	13,5	300	
Ott	546 MPN/100ml	2	1	7	18	23	3 MPN/100ml	399	1713	36	18	300	4
Nov	308 MPN/100ml	2	1	15	21	51	2 MPN/100ml	402	1021	35	9	260	8
Dic	302 MPN/100ml	9	7	11	39	44	9 MPN/100ml	419	359,7	21	10	250	7

Tabella 4.10: Parametri Batteriologici relativi all'anno 2006

2008	Coliformi Totali [MPN/100ml]	Coliformi Fecali [ufc/100ml]	Enterococchi [ufc/100ml]	Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	Escherichia coli [MPN/100ml]	Aeromonas spp [ufc/100ml]	Alghe [N°/ml]	Attinomiceti [ufc/100ml]	Funghi [ufc/100ml]	Lieviti [ufc/100ml]	Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]
Genn	192	17	26	6	87	161	24	460	2244	72	18,75	250	7
Febbr	98	5	9	6	39	53	8	420	776	68	22,5	230	10
Mar	243	7	9	9	29	48	8	413	962	44	16,75	237,5	10
Apr	747	7	7	4	46	54	10	431	1273	33	19,3	250	2
Magg	400	1	1		22	24	0	429	1236	44,6	14	200	2
Giu	1380	2	2		16	22	3	446	2154	60	26	300	9
Lugl	1642	12	5	9	20	37	10	457	2580	7	8	150	5
Ago	911	8	2	12	19	22	4	498	884	2,3	13,5	235	5
Sett	236	3	4	7	22	26	3	507	1339	2,3	20	250	8
Ott	86	1	1	8	18	21	1	500	1406	37	17	68	2
Nov	338	37	22	36	80	90	34	706	644	17	19	200	18
Dic	1010	103	82	43	168	240	113	1024		113	43	300	21

Tabella 4.14: Parametri Batteriologici relativi all'anno 2008

2009	Coliformi Totali [MPN/100ml]	Coliformi Fecali [ufc/100ml]	Enterococchi [ufc/100ml]	Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	Escherichia coli [MPN/100ml]	Aeromonas spp [ufc/100ml]	Alghe [N°/ml]	Attinomiceti [ufc/100ml]	Funghi [ufc/100ml]	Lieviti [ufc/100ml]	Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]
Genn	1461	162	99	29	92	116	257	936	956	115	10	300	12
Febbr	448	75	49	22	61	75	81	542	644	77	45	220	13
Mar	210	14	19	16	56	77	21	587	4320	120	9	250	23
Apr	198	24	19	12	49	57	27	644	4397	68	15	250	21
Magg	415	21	14	14	54	62	22	819	1456	75	5	250	5
Giu	299	2	1	11	35	36	2	858	1282	38	14,5	280	8
Lugl	188	2	1	9	24	31	3	854	23768	53	22	300	8
Ago	266	2	1	11	24	27	2	770	12522	59	12	260,5	3
Sett	310	2	1	12	15	18	3	812	7252	61	9	260	3
Ott	163	1	1	17	21	26	1	858	3846	53,5	14,5	240	2
Nov	119	12	5	17	35	47	10	860	2464	58	5	200	7
Dic	484	36	52	20	68	85	60	863	1040	21	15	200	10

Tabella 4.16: Parametri Chimico-Fisici relativi all'anno 2009

Prima dell'analisi vera e propria, è necessario preparare i dati, e questo di solito comporta un certo numero di operazioni. Alcune di queste, in realtà, sono a cavallo tra la pre-analisi e l'analisi monovariata. ^[10]Un problema che si riscontra ogni volta che si raccolgono i dati è quello delle informazioni mancanti. Per questo motivo è necessaria una fase di pre-elaborazione da eseguire sui dati di partenza, denominata *data cleaning* o pulitura dei dati. Le attività eseguite durante il data cleaning sono: eliminare il rumore presente nei dati e correggere le inconsistenze, riempire gli attributi che hanno valori mancanti e, infine, identificare gli outliers (dati molto diversi dai valori attesi).

In questa prima fase è possibile notare subito che nelle tabelle appena illustrate alcuni parametri presentano dati mancanti, questo è dovuto, nella maggior parte dei casi a problemi legati alle apparecchiature e/o agli strumenti di determinazione dei valori dei parametri monitorati. In altri casi, invece, i dati mancanti come alcalinità M e P, durezza, calcio e magnesio, sodio e potassio, cromo, cobalto, nichel, cadmio e piombo, derivano dalla decisione di sospendere i controlli su tali parametri, ritenendone superfluo il monitoraggio ai fini della valutazione della qualità dell'acqua grezza. Il problema della mancanza di dati sarà affrontato più approfonditamente nel paragrafo 4.3. Inoltre, nella matrice dei dati dell'anno 2009 mancano i valori del ferro, in quanto nel suddetto anno sono state effettuate analisi sul ferro disciolto, ottenendo quindi valori non più numericamente confrontabili con i valori del ferro totale valutati con un altro metodo negli anni precedenti. Si può notare anche, che in tutti gli anni considerati i valori dell'ammoniaca e dei nitriti risultano sempre nulli, pertanto nelle successive analisi è utile trascurare entrambi i parametri. Lo stesso procedimento è stato applicato ai valori di nichel, cadmio e piombo nei mesi di febbraio e marzo 2005: questi, essendo stati determinati presso un altro impianto, sono stati eliminati del tutto, poichè ritenuti non confrontabili con gli altri dati. In particolare, tra questi parametri, il nichel presenta a maggio e luglio 2002 rispettivamente valori $< 0,1$ mg/l e < 1 mg/l, che è possibile andare a sostituire senza troppe variazioni con un valore 0. In ultimo, a settembre del 2008 il cobalto, che è sempre risultato nullo, presenta un valore (38,4 mg/l) diverso da tutti gli altri, pertanto, si può considerare come un valore anomalo ed escluderlo dalle successive elaborazioni. A questo punto, questi quattro parametri appena esaminati (cobalto, nichel, cadmio e piombo) risultano essere sempre nulli, ad eccezione di un unico dato per il cadmio (0,14 mg/l). Questa situazione consente, quindi, di escludere totalmente tali parametri, trascurandoli nelle successive elaborazioni e procedendo con l'analisi di 25 parametri chimico-fisici e di 13 parametri batteriologici.

Bisogna anche evidenziare che, per quanto riguarda i parametri batteriologici, i valori relativi ai coliformi totali ed escherichia-coli sono stati misurati fino ad aprile 2005 in ufc/100 ml, mentre da maggio dello stesso anno in poi, la loro unità di misura è MPN/100 ml. In realtà si tratta di due unità di misura differenti tra loro e non convertibili, in quanto il sistema di determinazione è del tutto diverso, ovvero l'unità di misura ufc/100ml determina la quantità di Unità Formanti Colonia in 100 ml d'acqua da trattare, mentre MPN (Most Probable Number) è un metodo miniaturizzato, anche detto a multi-pozzetto, che permette di ottenere un risultato in minor tempo rispetto alla classica metodica ufficiale, la quale, basandosi su terreni colturali e prove di conferma, richiederebbe in caso di positività tempi d'attesa troppo lunghi rispetto alle esigenze legate ai controlli di qualità microbiologica. La tecnica MPN consente

di determinare la concentrazione di batteri coliformi a 37°C in un determinato volume di acqua, dopo averlo introdotto in una sacca a multi-pozzetto, semplicemente andando a contare il numero di pozzetti che si colorano di giallo una volta trascorso il tempo di incubazione.



Figura 4.2 : Kit analisi tecnica MPN

4.1.1 Caratterizzazione dei parametri analizzati

In questo paragrafo sono descritti in dettaglio i parametri fisici, chimici e batteriologici relativi alla qualità delle acque in ingresso all'impianto di potabilizzazione della città di Potenza, i quali saranno sottoposti in seguito ad un'analisi statistica multivariata.

4.1.1.1 Parametri Fisici

1. Portata

Tra i parametri analizzati in questo lavoro vi è la portata di acqua sottoposta a potabilizzazione presso l'impianto di Masseria Romaniello. Questa portata unita alla portata d'acqua di sorgente, analizzata e trattata direttamente dall'Acquedotto Lucano, serve ad alimentare la città di Potenza e il suo hinterland.

Nel presente studio non si andrà a considerare la portata d'acqua disponibile nell'invaso, bensì la quantità d'acqua da potabilizzare che, in maniera complementare all'acqua di sorgente, deve soddisfare l'approvvigionamento idrico della città.

Questo sistema di fornitura d'acqua potabile, nei periodi di siccità quando la disponibilità di acqua

nelle sorgenti da cui si approvvigiona l'Acquedotto Lucano è scarsa, garantisce lo standard di quantità di acqua potabile necessaria a servire Potenza e altri 20 comuni lucani della provincia attraverso la potabilizzazione di una maggiore portata di acqua proveniente dall'invaso del Camastra.

2. Torbidità

Viene chiamata torbidità specifica il quantitativo di materiale solido nel punto e nell'istante di prelevamento. La torbidità delle acque è dovuta alla presenza di sostanze solide sospese costituite da particelle finissime, incapaci di sedimentare in un tempo ragionevolmente breve.

Per alcuni lavori sperimentali, quantificare la torbidità rappresenta un modo pratico per monitorare la crescita batterica. ^[27]Dal momento che i batteri si moltiplicano in un terreno liquido, il terreno stesso diventa torbido e opaco per la presenza delle cellule. Lo strumento usato per misurare la torbidità è lo spettrofotometro o nefelometro. Nello spettrofotometro, un fascio di luce attraversa una sospensione batterica e arriva, poi, a un rilevatore sensibile alla luce. A mano a mano che il numero di batteri aumenta, la quantità di luce che raggiunge il rilevatore diminuisce. La scala dello strumento porta una graduazione espressa in logaritmi detta assorbanza. L'assorbanza viene usata per monitorare la crescita batterica; quando i batteri sono in fase di crescita logaritmica o di morte, un grafico assorbanza/tempo produrrà una linea approssimativamente retta. Quando le letture di assorbanza sono confrontate con i conteggi in piastra della stessa coltura, questa correlazione può essere usata per stime future del numero di microrganismi mediante la misura della torbidità. Va detto però, che la torbidità non è un metodo di misura utile quando è necessario determinare la contaminazione di liquidi da parte di un numero relativamente basso di microrganismi, poiché la torbidità dell'acqua diventa visibile solo con una presenza di almeno un milione di cellule per millimetro. La torbidità dell'acqua può essere provocata da cause naturali, come le piene dei fiumi che trascinano finissimi detriti silicei, oppure dallo scarico di liquami di varia origine contenenti sostanze sospese, o anche dal versamento di sostanze nutritive, e conseguente disordinata crescita di alghe.

La presenza di torbidità in un corpo d'acqua è nociva soprattutto per l'intercettazione della radiazione solare, che compromette il regolare svolgimento della fotosintesi clorofilliana.

Le misurazioni di torbidità forniscono dati sulla concentrazione delle particelle non disciolte, sospese, presenti in una fase liquida. La torbidità riduce l'efficienza dei disinfettanti per assorbimento proteggendo i batteri incapsulati all'interno delle particelle sospese. La torbidità si esprime in unità di formazina (NTU=FTU-JTU=JCU) oppure in unità di silice (mg/l di SiO₂). Nonostante non esista una precisa correlazione lineare tra le misure effettuate con il torbidimetro a candela di Jackson e le misure nefelometriche, in quanto i due tipi di misura si basano su principi ottici diversi, si è visto che una specifica sospensione di formazina, definita come 40 unità nefelometriche di torbidità (NTU), o 40 unità torbidimetriche di formazina (FTU), quando viene misurata con un torbidimetro a candela presenta una torbidità pari a circa 40 JTU. Ne discende quindi che le varie unità di misura (NTU, FTU, JTU e JCU) rappresentano con buona approssimazione lo stesso grado di torbidità, anche se, per quanto detto sopra, è bene specificare nel rapporto di analisi il metodo seguito. Nel nostro caso di studio l'unità di misura considerata è FTU.

3. pH

Il pH è uno dei più importanti parametri operativi di qualità dell'acqua. È necessario controllare con cura il pH in tutte le fasi del trattamento delle acque, per garantire che i processi di chiarificazione e di disinfezione siano soddisfacenti. Per una efficace disinfezione con cloro, il pH dovrebbe preferibilmente essere inferiore a 8. Il pH dell'acqua, che entra nel sistema di distribuzione, deve essere controllato al fine di minimizzare la corrosione delle condutture acquedottistiche. Un mancato adempimento di tali indicazioni, può dar luogo a contaminazioni dell'acqua potabile e ad effetti indesiderati riguardanti il sapore, l'odore e l'aspetto dell'acqua. Il valore ottimale di pH richiesto varia nei diversi approvvigionamenti idrici a seconda della composizione dell'acqua e della natura dei materiali usati nel sistema di distribuzione, e risulta spesso compreso tra 6,5 e 9,5. Si possono ritrovare valori estremi di pH in conseguenza di infiltrazioni accidentali, di incidenti durante il trattamento e in caso di rivestimenti di tubazioni in malta di cemento insufficientemente curati.

4. Conducibilità

La conducibilità elettrica è la misura della capacità di condurre corrente di un'acqua contenente dei sali disciolti (ioni). Tanto più elevata è la concentrazione degli ioni, tanto maggiore sarà la conducibilità. La misura della conducibilità elettrica di un'acqua corrente, pertanto, permette di ottenere un'informazione circa il suo grado di mineralizzazione. L'acqua ad elevata purezza ha una conducibilità elettrica estremamente bassa.

Dato che la parte più rilevante (90%) dei solidi contenuti nelle acque di rete è costituita da carbonati di calcio e magnesio è necessario tenere presente anche i valori relativi alla durezza, al calcio e al magnesio.

5. Temperatura

I valori relativi a questo parametro indicano la temperatura dell'acqua proveniente dall'invaso del Camastra misurata presso l'impianto di potabilizzazione di Masseria Romaniello. Naturalmente, il parametro in questione è influenzato direttamente dalla temperatura esterna, risulta quindi evidente la presenza di valori maggiormente elevati nei mesi estivi.

6. Alcalinità P e Alcalinità M

Per alcalinità di un'acqua si intende l'insieme delle sostanze disciolte che danno reazione alcalina (carbonati, bicarbonati, idrati, fosfati, silicati); la sua determinazione ci dà informazioni di massima sugli ioni che ne sono la causa. Esistono due tipi di alcalinità: l'alcalinità alla fenolftaleina (Alcalinità P) e l'alcalinità al metilarancio (Alcalinità M). La prima è data dalle sostanze a marcata reazione basica (anioni forti CO_3^- , OH^- , PO_4^{--}), la seconda detta anche alcalinità totale, è data da tutte le sostanze a reazione alcalina e quindi, oltre agli ioni già citati, da anioni deboli HPO_4^{--} , HCO_3^- e prodotti di idrolisi dei silicati. L'alcalinità viene normalmente espressa come mg/l di CaCO_3 . Tipicamente l'alcalinità P fornisce la quantità di idrati e metà dei carbonati, l'alcalinità M la metà dei carbonati ed i bicarbonati. In caso di acqua demineralizzata fornisce indicazioni sugli inquinamenti e sull'utilizzo di alcuni condizionanti.

7. Durezza

Per durezza dell'acqua si intende un valore che esprime il contenuto di ioni di calcio e magnesio (provenienti dalla presenza di sali solubili nell'acqua) oltre che di eventuali metalli pesanti presenti nell'acqua. Generalmente con questo termine si intende riferirsi alla durezza totale; la durezza permanente esprime invece la quantità di cationi rimasti in soluzione dopo ebollizione prolungata, mentre la durezza temporanea, ottenuta per differenza tra le precedenti durezze, esprime sostanzialmente il quantitativo di idrogenocarbonati. La durezza dell'acqua è dovuta alla presenza del calcio disciolto e, in misura minore, del magnesio. Viene espressa generalmente come quantità equivalente di carbonato di calcio.

L'accettabilità del grado di durezza dell'acqua da parte della popolazione può variare considerevolmente da una comunità all'altra, a seconda delle condizioni locali. Il valore soglia per il sapore relativo allo ione calcio è compreso tra 100 e 300 mg/l

Dipendentemente dal pH e dall'alcalinità, una durezza superiore a 200 mg/l può dar luogo a deposito di incrostazioni, in particolare negli impianti di riscaldamento. Acque dolci, con una durezza inferiore a circa 100 mg/l, hanno una bassa capacità tampone e possono essere più corrosive per le tubazioni. Sebbene un certo numero di studi epidemiologici, ecologici ed analitici, abbia dimostrato l'esistenza di una correlazione negativa, statisticamente significativa, tra durezza dell'acqua potabile e malattie cardiovascolari, i dati disponibili non consentono di concludere che tale associazione sia casuale. Esistono indicazioni che acque molto dolci possano avere un effetto negativo sul bilancio minerale, tuttavia non sono disponibili studi dettagliati che consentano una valutazione precisa.

4.1.1.2 *Parametri Chimici*

1. Ossigeno disciolto

Il contenuto di ossigeno disciolto è influenzato dalla temperatura, dalla composizione e dal trattamento dell'acqua grezza e dai processi chimici o biologici che possono aver luogo nel sistema di distribuzione. La carenza di ossigeno disciolto negli approvvigionamenti idrici può favorire la riduzione microbica dei nitrati a nitriti e dei solfati a solfuri, causando problemi di odori sgradevoli. Può anche causare un incremento della concentrazione di ferro ferroso in soluzione.

2. Calcio e Magnesio

L'acqua, attraversando gli strati del terreno, si arricchisce di numerosi sali minerali che ne costituiscono la salinità totale. ^[15]Questo spiega la presenza di alcuni ioni che normalmente si trovano sotto forma di sali, come ad esempio il Calcio ed il Magnesio. Uno degli scopi della potabilizzazione dell'acqua, infatti, è proprio quello di eliminare i sali di calcio e magnesio. Entrambi gli ioni sono tra i principali responsabili delle incrostazioni e dei danni arrecati agli impianti idrici, alle caldaie, ai bollitori, agli elettrodomestici ed alle rubinetterie. Il calcio e il magnesio, come detto in precedenza, sono strettamente correlati alla durezza, che aumenta in conseguenza dell'aumento della loro concentrazione

in acqua. Nonostante gli effetti corrosivi sui materiali di questi due elementi, bisogna ricordare che il calcio è indispensabile per l'uomo, soprattutto nella regolazione dei battiti del cuore, per evitare malformazioni nel cervello e nel midollo spinale dei neonati, per prevenire e curare disturbi artrici e reumatici, e per eliminare il pericolosissimo piombo dall'organismo. È stato dimostrato, al di là di ogni dubbio, che nelle zone con acque ricche di calcio e magnesio vi sono meno infarti e malattie circolatorie, meno fratture spontanee nelle ossa degli anziani (e le guarigioni si verificano con maggiore rapidità). Inoltre, la carenza di magnesio accelera l'invecchiamento dell'organismo (sistema muscolare e nervoso), ed è collegata ad una maggior percentuale di tumori, all'apatia mentale, alla depressione e alla diminuzione della facoltà motoria e del tono muscolare, con spasmi e crampi muscolari.

3. Cloruri

I cloruri nell'acqua potabile provengono da sorgenti naturali, da scarichi industriali e urbani, dal dilavamento di aree urbane, a seguito dell'uso di sali per sciogliere il ghiaccio, e dall'intrusione salina. La principale fonte di esposizione dell'uomo ai cloruri è costituita dalla presenza di sale negli alimenti; l'assunzione di cloruri da questa fonte è generalmente molto più grande di quella dall'acqua potabile. Concentrazioni eccessive di cloruri accelerano la corrosione dei metalli nei sistemi di distribuzione in funzione dell'alcalinità dell'acqua. Ciò può condurre ad un aumento della concentrazione di alcuni metalli nell'approvvigionamento idropotabile.

Concentrazioni nell'acqua di cloruri superiori a circa 250 mg/l possono dar luogo ad un sapore indesiderato.

4. Ammoniaca

Il termine ammoniaca include la forma non ionizzata (NH_3) e quella ionizzata (NH_4^+). L'ammoniaca nell'ambiente ha origine da processi metabolici, agricoli e industriali e dalla disinfezione dell'acqua con clorammina, la sua presenza nell'acqua è quasi sempre correlata a fenomeni di inquinamento in atto di origine animale, più raramente di origine geologica. L'ammoniaca ha effetti tossici sull'uomo e sugli animali, ma i livelli di concentrazione ai quali è tossica variano secondo l'organismo e dipendono dalla funzionalità del fegato e dei reni.

I livelli naturali nelle acque di falda e in quelle di superficie sono generalmente minori di 0,2 mg/l, le acque sotterranee anaerobiche ne possono contenere fino a 3 mg/l. La presenza di allevamenti zootecnici intensivi può dare luogo a livelli molto più elevati in acque di superficie. La contaminazione da ammoniaca può inoltre derivare dai rivestimenti in malta-cemento delle tubazioni. L'ammoniaca in acqua è un indicatore di possibile inquinamento da batteri, acque di scarico e rifiuti animali. L'ammoniaca è uno dei principali composti del metabolismo dei mammiferi. L'esposizione da fonti ambientali è insignificante rispetto alla sua sintesi endogena. Effetti tossici si osservano soltanto a livelli di esposizione superiori a circa 200 mg/kg di peso corporeo.

L'ammoniaca nell'acqua potabile non possiede un'immediata rilevanza per la salute, pertanto non è stato proposto alcun valore di linea guida basato su criteri di protezione della salute. Tuttavia, l'ammoniaca può compromettere l'efficacia della disinfezione, dare origine a formazione di nitriti nei sistemi di distribuzione, danneggiare i filtri per la rimozione del manganese e causare problemi di sapore

e di odore. La concentrazione soglia per l'odore dell'ammoniaca a pH alcalino è approssimativamente di 1,5 mg/l.

5. Nitriti e Nitrati

I nitriti e i nitrati sono sali di azoto: i primi si ottengono dall'acido nitroso (HNO_2) e i secondi dall'acido nitrico (HNO_3). La sottile differenza fra nitriti e nitrati è insita in un solo atomo di ossigeno (uno in più per i nitrati). Il nitrato di sodio è il composto dell'azoto più diffuso sulla terra, anche in depositi di origine biologica (il guano). Queste sostanze vengono assunte anche tramite l'acqua e le verdure concimate con preparati a base di azoto. I vegetali usano infatti i nitrati per sintetizzare gli elementi fondamentali alla loro crescita, in presenza della luce solare. Per questa ragione i vegetali coltivati in serra o esposti limitatamente alla luce contengono più nitrati di quelli provenienti da colture non intensamente concimate e colti al momento di giusta maturazione.

Queste sostanze sono ampiamente usate come conservanti per carni in scatola e salumi e per migliorare il sapore e il colore del prodotto; si usano a questo scopo quantità tre volte superiori a quelle necessarie come conservanti.

I nitriti consentono di conservare il cibo, in particolare prevengono lo sviluppo del botulino (è da notare che per altri cibi la prevenzione viene attuata senza l'uso di nitriti). Inoltre, essi derivano dall'ammoniaca presente nell'acqua che viene trasformata in nitriti dai batteri *Nitrosomonas*.

I nitrati di per sé sono innocui, ma in particolari condizioni (calore, batteri, lunga conservazione) possono trasformarsi in nitriti. I nitriti vengono trasformati in nitrati ad opera dei batteri del ceppo *Nitrobacter*. I nitriti assunti dall'uomo in quantità eccessive si legano all'emoglobina e riducono il trasporto dell'ossigeno. Questa limitazione può essere particolarmente importante per i bambini e i neonati. Inoltre i nitriti, se si combinano con le ammine, possono generare nitrosammine, potenzialmente cancerogene.

Una percentuale di nitrati variabile fra l'1 e il 5% viene convertita comunque in nitriti. Infatti il 20% dei nitriti introdotti nell'organismo e assorbiti dall'intestino tenue viene catturato dalle ghiandole salivari e secreto in bocca; i batteri del dorso della lingua ne trasformano circa il 25%, che poi passano nello stomaco. Visti questi numeri si può grossolanamente affermare che i nitriti sono 20 volte più pericolosi dei nitrati (non a caso per legge il limite dei nitrati nelle acque potabili è di 50 mg/l, mentre per i nitriti è 0).

6. Ossidabilità

L'ossidabilità secondo Kubel, nota alternativamente anche come *ossidabilità al permanganato*, è un parametro specifico che definisce il carattere riducente di un corpo idrico. Questa proprietà è legata alla presenza di composti indesiderati e potenzialmente dannosi, quali ad esempio solfiti, solfuri, nitriti, ferro, fenoli e altre sostanze organiche. I parametri di legge fissano il limite massimo di ossidabilità secondo Kubel per l'acqua potabile in 5 mg/l di ossigeno consumato. Questo parametro indica la presenza di sostanza organica in un'acqua e fornisce una indicazione riguardo all'inquinamento biologico, naturale o antropico. Non è un parametro di per sé pericoloso, tuttavia un valore di ossidabilità alto può favorire fenomeni di crescita batterica nella rete idrica ed associarsi

ad altri aspetti indesiderati in un'acqua potabile quali odori, sapori, colori, torbidità.

7. Solfati

I solfati si trovano in natura in numerosi minerali, mentre dal punto di vista commerciale, vengono utilizzati soprattutto nell'industria chimica. La loro presenza nell'acqua è dovuta ad effluenti industriali e alla deposizione atmosferica, i più alti livelli, tuttavia, si riscontrano generalmente nelle acque sotterranee e provengono da sorgenti naturali. In generale, gli alimenti costituiscono la principale fonte di esposizione ai solfati. Il contributo dell'aria all'assunzione totale è in questo caso trascurabile. La presenza di solfati nell'acqua potabile può causare un sapore percettibile e può contribuire alla corrosione delle reti di distribuzione dell'acqua, oltre che causare problemi gastrointestinali in seguito all'ingestione da parte dell'uomo di quantitativi superiori a 500 mg/l.

8. Alluminio

L'alluminio è un elemento diffuso e abbondante, costituisce circa l'8 % della crosta terrestre. I composti dell'alluminio sono ampiamente utilizzati come coagulanti nel trattamento delle acque per l'approvvigionamento pubblico e la presenza dell'alluminio nell'acqua potabile è frequentemente dovuta a carenze nel controllo e nelle operazioni del processo. L'esposizione dell'uomo può verificarsi da varie vie, con un contributo dell'acqua potabile probabilmente inferiore al 5% dell'assunzione totale.

Il metabolismo dell'alluminio nell'uomo non è ben noto, ma sembra che l'alluminio inorganico venga scarsamente assorbito e che la maggior parte dell'alluminio assorbito venga escreto rapidamente nelle urine. L'alluminio mostra tossicità bassa negli animali da laboratorio. Sono ancora necessari ulteriori studi, ma attualmente l'esame dell'evidenza epidemiologica e fisiologica nel complesso attesta un ruolo non casuale dell'alluminio nel morbo di Alzheimer. Pertanto, non viene raccomandato alcun valore di linea guida basato su criteri di protezione della salute. Tuttavia, una concentrazione di alluminio di 0,2 mg/l nell'acqua potabile costituisce un compromesso ragionevole per la necessità dell'uso pratico dei sali di alluminio nel trattamento delle acque distribuite. Infatti, concentrazioni superiori a tale valore danno spesso luogo alla presenza di depositi di flocculi di idrossido di alluminio e all'aumento di problemi di clorazioni associati al ferro.

9. Fluoruri

Il fluoro è un componente della crosta terrestre, dove è presente in concentrazioni di circa 0,3 g/kg. I composti inorganici del fluoro vengono usati nella produzione di alluminio e i fluoruri vengono rilasciati durante la produzione e l'uso di fertilizzanti a base di fosfati, che contengono fino al 4% di fluoro. I livelli di esposizione giornaliera ai fluoruri dipendono dall'area geografica. L'esposizione ai fluoruri dall'acqua potabile dipende molto dalle fonti naturali. Nelle acque grezze i livelli sono generalmente inferiori a 1,5 mg/l ma in aree ricche di minerali contenenti fluoruri, le acque sotterranee possono contenerne circa 10 mg/l dopo essere stati assunti attraverso l'acqua potabile, i fluoruri solubili vengono assorbiti rapidamente nel tratto gastrointestinale.

Nello stabilire gli standard nazionali per i fluoruri, è particolarmente importante tenere in considerazione le condizioni climatiche, il volume di acqua consumato e l'assunzione di fluoruri da

altre fonti (ad esempio, alimenti o aria).

10. Sodio e Potassio

I sali di sodio (ad esempio, cloruro di sodio) si trovano praticamente in tutti gli alimenti e nell'acqua potabile. Sebbene le concentrazioni di sodio nell'acqua potabile siano tipicamente inferiori a 20 mg/l, in alcune situazioni possono superare di gran lunga questo livello. Nell'aria, i livelli dei sali di sodio sono normalmente bassi rispetto a quelli presenti negli alimenti o nell'acqua. Bisogna osservare che alcuni sistemi di addolcimento delle acque possono provocare un aumento significativo del contenuto di sodio e potassio nell'acqua potabile. Questi due elementi contribuiscono alla formazione di residuo fisso. Sia il sodio che il potassio sono prevalentemente di origine naturale, ma possono derivare anche da attività umane presenti sul territorio. La maggior parte del potassio si trova nella crosta terrestre sotto forma di minerali, come feldspati ed argilla, da essi è poi rilasciato tramite erosione nelle acque superficiali e di falda.

Il potassio è un elemento chiave per le piante. Nonostante sia solubile in acqua, solo una minima parte è persa nel terreno, perchè come viene rilasciato da piante morte ed escrementi di animali, si lega rapidamente alle particelle di argilla, pronto per essere riassorbito dalle radici di altre piante, infatti, lo si può ritrovare nei vegetali e nella frutta. Il potassio in relazione alla salute umana gioca un ruolo importante nella fisica del sistema fluido del metabolismo ed assiste la funzione dei nervi. In forma di ione K^+ si concentra nelle cellule, dove si trova il 95% del potassio presente nel nostro corpo. Quando i nostri reni sono in qualche modo malfunzionanti si verifica un accumulo di potassio, che può portare ad un disturbo nel battito cardiaco.

11. Cromo

Il cromo è ampiamente distribuito nella crosta terrestre. Può esistere sotto forma di composti di valenza da +2 a +6, la concentrazione totale di cromo nell'acqua potabile è generalmente inferiore a 2 mg/l, sebbene siano state riportate concentrazioni fino a 120 mg/l. In generale gli alimenti rappresentano la fonte principale di assunzione del cromo. L'assorbimento del cromo dopo assunzione orale è relativamente lento e dipende dal suo stato di ossidazione. Nel tratto gastrointestinale, il cromo esavalente viene assorbito più facilmente rispetto al cromo trivalente ed è in grado di penetrare le membrane cellulari. A causa della cancerogenicità del cromo esavalente per via inalatoria e della genotossicità, è stato scelto come misura pratica un valore di 0,05 mg/l che si considera improbabile che dia origine ad un rischio significativo per la salute.

12. Ferro

Il ferro è uno dei metalli più abbondanti nella crosta terrestre. Le acque sotterranee in condizioni anaerobiche possono contenere lo ione ferroso fino a parecchi mg/l, senza accusare problemi di colore o torbidità all'acqua direttamente captata dal pozzo. Esposto all'aria, però, lo ione ferroso si ossida a ione ferrico che dà luogo ad una colorazione rosso-bruna dell'acqua. Le acque dolci naturali si riscontrano a livelli compresi tra 0,5 e 50 mg/l. Può anche esser presente nell'acqua potabile come risultato dell'uso di coagulanti contenenti ferro o della corrosione di tubazioni in acciaio e ghisa durante la distribuzione dell'acqua.

Il ferro promuove anche la crescita di “ferrobatteri”, che derivano la loro energia dall’ossidazione del ferro ferroso a ferrico, depositando durante questo processo uno strato melmoso nella conduttura. Il ferro è un elemento essenziale per l’uomo. Le stime di richiesta minima giornaliera del ferro dipendono da età, sesso, stato fisiologico e biodisponibilità, e sono nell’intervallo da 10 a 50 mg/giorno.

13. Manganese

Il manganese è uno dei metalli più abbondanti nella crosta terrestre e generalmente si trova insieme al ferro. In acque sotterranee e in quelle superficiali povere di ossigeno, le concentrazioni di manganese disciolto possono raggiungere parecchi mg/l. Se esposto all’ossigeno, il manganese può formare ossidi insolubili che possono provocare depositi indesiderabili nel sistema di distribuzione e problemi di colore. Negli adulti l’assunzione giornaliera di manganese dagli alimenti è compresa fra 2 e 9 mg. Sebbene nessun singolo studio sia adeguato per calcolare un valore guida, il peso dell’evidenza dall’assunzione reale e dagli studi sugli animali da laboratorio, trattati con acqua potabile contenete manganese, nei quali sono stati osservati effetti sul sistema nervoso ed altri effetti tossici, conferma che un valore di 0,5 mg/l dovrebbe essere adeguato per la protezione della salute.

14. Bario

Il bario si ritrova sotto forma di vari composti nella crosta terrestre e viene utilizzato in un’ampia varietà di applicazioni industriali, ma è presente in acqua principalmente per cause naturali. In generale, gli alimenti rappresentano la principale fonte di esposizione al bario, tuttavia, in aree dove le concentrazioni di bario in acqua sono elevate, l’acqua potabile può contribuire significativamente all’assunzione totale. L’assunzione dall’aria è trascurabile.

Sebbene in uno studio epidemiologico ed ecologico sia stata riportata un’associazione fra mortalità per malattie cardiovascolari e contenuto di bario nell’acqua potabile, tali risultati non sono stati confermati da uno studio epidemiologico analitico condotto sulla stessa popolazione. Inoltre, uno studio a breve termine su un piccolo numero di volontari non ha rivelato alcun effetto cardiovascolare sistematico in seguito ad esposizione a concentrazioni di bario fino a 10 mg/l in acqua. Tuttavia, in ratti esposti a concentrazioni relativamente basse di bario in acqua potabile è stato osservato un aumento della pressione sistolica.

È stato derivato un valore di linea guida di 0,7 mg/l dallo studio epidemiologico più sensibile condotto fino ad oggi nel quale non sono state osservate differenze significative nella pressione del sangue o nella prevalenza di malattie cardiovascolari in una popolazione che consumava acqua con una concentrazione media di bario di 7,3 mg/l rispetto ad un’altra che ingeriva acqua che ne conteneva 0,1 mg/l.

15. Rame

Normalmente, il rame è presente nell’acqua potabile a bassi livelli, di alcuni mg/l, ma il suo uso negli impianti idraulici delle abitazioni può determinare un notevole innalzamento della sua concentrazione. A seguito di un periodo di ristagno nelle condotte, il rame può raggiungere concentrazioni di molti mg/l. Il rame è un elemento essenziale per l’uomo e la sua assunzione dagli alimenti è generalmente 1-3 mg/giorno. Considerando le incertezze che permangono rispetto alla tossicità del rame nell’uomo,

il valore guida si attesta intorno ai 2 mg/l. Tutto sommato il rame può dare origine a problemi di alterazione del sapore dell'acqua.

16. Cobalto

Il cobalto è relativamente poco abbondante nella crosta terrestre e nelle acque naturali. Generalmente non si trova come metallo libero ma solitamente in forma di minerale. Il cobalto non è solitamente estratto da solo e tende ad essere prodotto come sottoprodotto dell'attività di estrazione mineraria di nichel e rame. Dal momento che il cobalto è ampiamente disperso nell'ambiente gli esseri umani possono essere esposti ad esso respirando aria, bevendo acqua e mangiando alimenti che contengono cobalto. Anche il contatto con terreno o acqua che contiene cobalto può aumentare l'esposizione. Il cobalto non è spesso liberamente disponibile nell'ambiente, ma se le particelle di cobalto non sono legate al terreno o a particelle di sedimenti, l'assorbimento da parte di piante ed animali è più alto e può verificarsi accumulo in essi. Il cobalto è favorevole per gli esseri umani perché è parte della vitamina B₁₂, che è essenziale per la salute umana, viene infatti usato per trattare l'anemia nelle donne in gravidanza perché stimola la produzione di cellule rosse del sangue.

La presa giornaliera di cobalto è variabile e può essere pari a 1 mg, ma quasi tutto passa attraverso l'organismo senza essere assorbito. Tuttavia, concentrazioni di cobalto troppo elevate possono danneggiare la salute umana. Quando le piante crescono su terreni contaminati accumulano particelle molto piccole di cobalto, in particolare nelle parti delle piante che mangiamo, come frutta e semi. I terreni in prossimità di miniere ed impianti di fusione possono contenere quantità molto elevate di cobalto, di conseguenza l'assorbimento attraverso l'ingestione di frutta e verdura può avere effetti nocivi per la salute umana. Gli effetti sulla salute che derivano da assorbimento di alte concentrazioni di cobalto sono: vomito e nausea, problemi di vista, problemi di cuore e/o danni alla tiroide.

17. Nichel

La concentrazione di nichel nell'acqua potabile è normalmente inferiore a 0,02 mg/l in casi particolari di rilascio da depositi naturali o industriali di nichel, la sua concentrazione nell'acqua potabile può essere anche più elevata. Vari studi hanno portato a stabilire la cancerogenicità del nichel per via orale, inoltre, il suo assorbimento intestinale è molto più elevato quando il nichel viene assunto a stomaco vuoto con l'acqua potabile piuttosto che con altri alimenti.

18. Cadmio

Il cadmio metallico è usato nell'industria dell'acciaio e nelle materie plastiche. I composti del cadmio sono ampiamente usati nella fabbricazione di batterie e pile elettriche. Il cadmio viene rilasciato nell'ambiente con le acque di scarico e una contaminazione diffusa è dovuta alla sua presenza nei fertilizzanti e alla contaminazione atmosferica locale. La contaminazione dell'acqua potabile può anche essere causata da impurezze presenti nello zinco delle tubazioni galvanizzate. L'assorbimento dei composti del camio dipende dalla loro solubilità. Il cadmio si accumula principalmente nei reni, nell'uomo presenta una lunga emivita biologica, di 10-35 anni.

Esiste evidenza che sia cancerogeno per via inalatoria, mentre non è stata provata con certezza la sua cancerogenicità per via orale e la sua genotossicità.

19. Piombo

Il piombo è utilizzato principalmente nella produzione di batterie, leghe per saldature e leghe comuni. Inoltre i composti organometallici del piombo, piombo tetraetile e piombo tetrametile sono stati usati ampiamente come agenti detonanti e lubrificanti nella benzina, sebbene in molti Paesi questo uso sia in via di abbandono. A causa della diminuzione dell'uso di additivi contenenti piombo nella benzina e nelle leghe per saldature, le concentrazioni nell'aria e negli alimenti sono in diminuzione, pertanto l'assunzione attraverso l'acqua potabile attualmente costituisce una proporzione maggiore rispetto all'assunzione totale.

Il piombo è tossico sia per il sistema nervoso centrale che per quello periferico, inducendo effetti neurologici subencefalopatici e comportamentali.

Il problema del piombo è insolito, in quanto la maggior parte della sua presenza nell'acqua potabile proviene dalle tubazioni interne agli edifici ed il rimedio consiste principalmente nel rimuovere le parti contenenti piombo.

20. Carbonio Organico Totale (TOC)

Il Carbonio Organico Totale rappresenta un parametro importante per la valutazione dell'inquinamento organico dell'acqua. Dal momento che tutti i composti organici vengono rilevati e specificati in termini di massa di carbonio, il TOC costituisce una grandezza assoluta definibile con precisione e misurabile direttamente (unità di misura: mg/l di C). Tuttavia, il TOC non dà indicazioni sull'ossidabilità del carbonio rilevato e sul fabbisogno di ossigeno necessario per il suo abbattimento. In compenso, il rapporto COD/TOC fornisce informazioni importanti su determinati composti organici (per es. alcol, albumina ecc.). Pertanto, una modifica di questo rapporto, per esempio, all'ingresso di un impianto di acque reflue consente di trarre conclusioni sulle cause e i possibili effetti sui processi biologici.

4.1.1.3 Parametri Batteriologici

1. Coliformi totali e Coliformi Fecali

Con il termine di Coliformi totali si indica un gruppo di batteri appartenenti alla famiglia delle *Enterobacteriaceae*, accomunati dalla caratteristica di fermentare il lattosio con produzione di acidi e gas.^[14] I coliformi in generale sono microrganismi pressoché ubiquitari, ampiamente diffusi, che si ritrovano comunemente sia nell'ambiente naturale (acqua e suolo) che nel tratto intestinale degli animali e dell'uomo. Quest'ultima peculiarità giustifica il fatto che i coliformi sono considerati da molto tempo degli idonei indicatori microbiologici della qualità dell'acqua potabile, principalmente perché sono facilmente determinabili e quantificabili nell'acqua. Il termine "organismi coliformi" si riferisce a batteri Gram-negativi*, a forma di bastoncino capaci di crescere in presenza di sali biliari o

* La colorazione di Gram è un esame di laboratorio che dà ragione della classificazione dei batteri in gram-positivi e gram-negativi. Fu messa a punto nel 1884 dal medico danese Hans Joachim Christian Gram, e mette in evidenza alcune proprietà fondamentali della parete cellulare dei microrganismi. Con tale metodo è possibile esaminare sia batteri in coltura che frammenti di tessuti.

altri surfattanti con simili proprietà inibitorie, che sono in grado di fermentare il lattosio a 35-37°C con produzione di acido, gas e aldeide entro 24-48 ore. Sono anche ossidasi-negativi e non sporigeni. Per definizione, i batteri coliformi mostrano attività β -galattosidasi.

Tradizionalmente, i batteri coliformi erano considerati appartenenti ai generi *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* e *Klebsiella*. Tuttavia, in base ai metodi tassonomici moderni il gruppo risulta eterogeneo. Esso include infatti i batteri lattosio-fermentanti, quali *Enterobacter Clocae* e *Citrobacter Freundii*, che possono essere ritrovati sia nelle feci che nell'ambiente (acque ricche di nutrienti, suolo, materiale vegetale in decomposizione) e nell'acqua potabile che abbia concentrazioni di nutrienti relativamente alte, ma comprende anche specie che non si ritrovano nelle feci se non raramente, e che possono moltiplicarsi in acque potabili di buona qualità, come ad esempio *Serratia Fonticola*, *Rahnella aquatilis* e *Buttiauxella agrestis*.

L'esistenza di batteri non fecali che rientrano nella definizione di batteri coliformi, e di batteri coliformi lattosio-negativi limita la possibilità di utilizzare questo gruppo come indicatore di contaminazione fecale. I batteri coliformi non dovrebbero essere presenti in approvvigionamenti idrici sottoposti a trattamento e, se presenti, stanno ad indicare o un trattamento inadeguato, o una contaminazione dopo il trattamento, o un eccesso di nutrienti. Il test dei coliformi può quindi essere utilizzato come indicatore. La determinazione della carica dei coliformi totali, di per sé, non fornisce informazioni certe e rigorose e, pertanto, ad essa viene tipicamente fatta seguire la ricerca e la quantificazione dei Coliformi fecali, essendo questi ultimi, per la loro stretta associazione con l'habitat intestinale, più attendibili nel segnalare la presenza di contaminazione fecale da deiezione animale e umana.

Nonostante i coliformi non siano sempre direttamente correlabili alla presenza di contaminazione fecale o di patogeni nell'acqua potabile, il test dei coliformi è ancora utile per il monitoraggio della qualità microbiologica dell'acqua trattata in distribuzione. In caso di dubbio, specialmente quando i coliformi sono ritrovati in assenza di coliformi termo tolleranti e di *E. coli*, si possono effettuare l'identificazione a livello di specie o la ricerca di altri organismi indicatori per meglio comprendere la natura della contaminazione.

2. Enterococchi

Gli Enterococchi appartenenti al genere *Streptococcus* sono Gram-positivi. Sono batteri, a forma sferica, ricercati nelle acque potabili come indice di un inquinamento da materiale fecale. Il loro habitat caratteristico è rappresentato dal tratto gastrointestinale dell'uomo e degli animali. Rispetto ai coliformi, la loro sopravvivenza in acqua è meno prolungata, motivo per cui la loro presenza indica una contaminazione fecale in atto; inoltre, essendo più resistenti alla clorazione, la loro ricerca fornisce indicazioni sull'efficienza di eventuali processi di disinfezione.

3. Anaerobi S.R.

Gli anaerobi S.R. (solfito-riduttori) sono indicatori di un inquinamento pregresso e possono quindi essere considerati parametri importanti da determinare anche nella valutazione dell'efficacia di sistemi di trattamento e disinfezione. In particolare viene ricercata e misurata la presenza di spore di Clostridi S.R. Questi sono bacilli sporigeni Gram-positivi, anaerobi stretti, in grado di ridurre il solfito in

solfuro. Comprende più di 80 specie di forma bastoncellare disposte singolarmente o a catenella. Mobili o immobili con endospore di forma ovale o sferica. Sono privi di citocromi e hanno sia catalasi che perossidasi negative. Grazie alla loro capacità di formare spore, quindi forme ad alta resistenza al calore e alla disinfezione, in condizioni ambientali avverse, sono in grado di sopravvivere nell'ambiente per lunghi periodi di tempo.

4. Colonie in agar a 37°C e Colonie in agar a 22°C

Il conteggio delle colonie a 37°C e a 22°C ha un significato indicativo e permette di evidenziare microrganismi eterotrofi aerobi ed anaerobi facoltativi presenti nelle acque. Si tratta di un'indagine da utilizzare quasi esclusivamente nell'analisi delle acque destinate al consumo umano in considerazione della sua utilità per la valutazione dell'efficacia dei trattamenti disinfettanti. L'uso di temperature diverse permette di mettere in evidenza microrganismi mesofili (a 37°C) e psicrofili (a 22°C). Entrambe le tipologie di microrganismi vengono ricercate mediante filtrazione dell'acqua (100 ml) su membrane che poi sono poste in piastra di coltura con terreno specifico (Agar). Il conteggio avviene direttamente su piastra, ed è espresso il UFC/100 ml.

5. Escherichia coli

L'Escherichia coli è un membro della famiglia delle enterobacteriaceae ed è caratterizzata dalla capacità di produrre gli enzimi b-galattosidasi e b-glucuronidasi. Cresce a temperature di 44-45 °C, fermenta il lattosio e il manitolo con produzione di acido e di gas e forma indolo dal triptofano. Alcuni ceppi possono crescere a 37 °C ma non 44-45°C, altri possono non sviluppare gas. Escherichia-coli non produce ossidasi e non idrolizza l'urea. L'identificazione completa di Escherichia-coli è troppo complicata per essere impiegata abitualmente, pertanto, per questo microrganismo, sono stati sviluppati alcuni test che consentono una identificazione presuntiva rapida e con un elevato grado di sicurezza. Alcuni di questi metodi sono stati standardizzati a livello nazionale ed internazionale e sono stati accettati per un impiego di routine, mentre altri sono ancora nella fase di elaborazione o di valutazione.

Escherichia-coli è abbondantemente presenti nelle feci umane ed animali e può raggiungere concentrazioni di 10^9 per grammo in feci fresche. Si ritrovano nelle acque di scarico, negli effluenti trattati e nei suoli sottoposti a contaminazioni fecali recenti, dovute all'uomo, agli animali da allevamento e selvatici, agli uccelli. Recentemente, è stato suggerito che E. coli possono essere presenti e anche moltiplicarsi in acque tropicali non soggette a contaminazioni umane. Tuttavia, non si può escludere che, anche nelle regioni più remote, possano aver luogo contaminazioni fecali dovute alla fauna selvatica, inclusi gli uccelli. Poiché gli animali possono trasmettere microrganismi patogeni per l'uomo, le acque vanno comunque esaminate per la presenza di E. coli o di batteri coliformi termo tolleranti nell'ipotesi che esse siano state contaminate da feci o che il trattamento sia stato inefficace.

6. Aeromonas

Gli Aeromonas sono batteri gram-negativi eterotrofi, maggiormente presenti in zone che presentano un clima mite. Questo batterio può essere inoltre trovato in acque dolci o salate, vive sia in ambienti aerobi che anaerobi. Del genere Aeromonas, la specie più conosciuta, delle sei facenti parte,

è *Aeromonas hydrophila*, che può nutrirsi di emoglobina, fu isolato per la prima volta sia nell'uomo che negli animali intorno agli anni '50. Questo batterio è veramente difficile da eliminare ed è resistente anche alle basse temperature (può vivere anche al di sotto dei 4 °C).

7. Alghe

Le alghe vivono per lo più nelle acque e sono organismi vegetali inferiori, autotrofi, provvisti di clorofilla ed altri pigmenti, che possono nascondere il colore verde tipico dato proprio dalla clorofilla. I problemi alla salute umana sono dati maggiormente da quelle alghe, quali le Cianofitiche, in grado di produrre eso ed endo-tossine che possono indurre gastroenteriti nei consumatori ed avere effetti di tossicità acuta o cronica. Le fioriture algali sono comunemente costituite da Cianobatteri. Oltre alle tossine, i Cianobatteri possono essere produttori di una grande varietà di sostanze, molte delle quali sono dotate di proprietà odorose acute e persistenti che possono rendere l'acqua potabilizzata inaccettabile per gli utenti. Le alghe, infatti, creano maggiori problemi per quanto riguarda le caratteristiche organolettiche dell'acqua potabile, potendone alterare l'odore, il colore e il sapore. Inoltre, quando la loro concentrazione è significativa, possono creare problemi di intasamento dei filtri a sabbia degli impianti di potabilizzazione. Per quel che riguarda il caso in esame, nelle acque provenienti dall'invaso del Camastra le alghe usualmente presenti sono le Diatomee, di forma cilindrica e pennate, che comunque non hanno mai raggiunto concentrazioni tanto elevate da provocare fenomeni di eutrofizzazione.

8. Attinomiceti

Gli attinomiceti sono organismi Gram-positivi saprofiti, ubiquitari (suolo, acque superficiali, ecc...), formati da filamenti sottili e ramificati che si sviluppano in un micelio simile a quello dei funghi. Questi batteri rientrano tra quei microrganismi indicatori biologici della qualità di un'acqua potabilizzata. Si riproducono per frammentazione dei filamenti o attraverso spore asessuate conidiformi in grado di dare origine ad una nuova forma vegetativa. E' accertata la patogenicità per l'uomo, manifestandosi soprattutto con allergie respiratorie. Sono in grado di modificare il gusto e l'odore dell'acqua e di alterare le guarnizioni in gomma dei raccordi della rete idrica. Nelle acque potabili la concentrazione di Attinomiceti varia da 10 a 103 UFC/100 ml. I principali generi di attinomiceti isolati in rete idrica sono: *Streptomyces*, *Nocardia*, *Micromonospora*.

9. Funghi

I funghi sono microrganismi eterotrofi unicellulari e filamentosi con cicli di vita semplici che li rendono largamente diffusi in natura. Colonizzano spesso le tubature e le superfici dei pozzi, entrando nei sistemi di distribuzione durante la costruzione del sistema, oppure passando attraverso gli impianti di trattamento o, ancora, tramite contaminazione aerea dei serbatoi. Normalmente i livelli dei funghi nelle acque potabili oscillano tra 1 e 100 ufc/100 ml, mentre sulle superfici dei tubi si possono trovare valori tra 1 e 10000 ufc/100ml. La loro presenza può creare problemi soprattutto considerando che esistono specie allergiche, patogene e tossigene che possono avere effetti diretti sulla salute dell'uomo.

10. Lieviti

Anche lieviti e virus possono mettere a rischio la qualità dell'acqua potabile, poiché sono agenti

inquinanti microbici che si trovano solitamente in acqua superficiale, come ad esempio Giardia e Criptosporidio. La Giardia è un organismo unicellulare che causa disturbi gastrointestinali. Il Criptosporidio è un parassita considerato come una delle cause più significative delle malattie diarroiche negli esseri umani. In individui con un sistema immunitario normale la malattia dura parecchi giorni causando diarrea, vomito, spasmi dello stomaco e febbre. Persone con un sistema immunitario indebolito possono soffrire di sintomi ben peggiori causati dal criptosporidio, come malattie simili al colera.

11. Stafilococchi patogeni

Gli stafilococchi appartengono alla famiglia delle Micrococcaceae, producono una grande varietà di sostanze extracellulari alle quali è dovuta, in misura variabile, la loro patogenicità. Si trovano nella polvere dei pavimenti, sui muri e su una grande varietà di oggetti; sono i più resistenti tra i batteri non sporigeni, potendo sopravvivere in svariate condizioni ambientali avverse. Questi organismi potrebbero essere presenti nelle acque potabili solo a seguito di manipolazioni dirette da parte dell'uomo che, se soggetto a questi tipi di infezioni, ne è portatore a livello epiteliale.

4.2 Discussione risultati Analisi Statistica Preliminare

Una volta raccolti i dati relativi ai parametri da studiare, si procede con l'analisi statistica univariata affiancata da un'analisi esplorativa dei dati (EDA) .^[25]I dati, organizzati in tabelle e ordinati per anno e/o per mese, sono stati elaborati mediante metodi numerici riferibili alla statistica descrittiva e ad alcuni grafici (istogrammi e grafici a dispersione). Quest'ultima procedura di classificazione detta EDA "Exploratory Data Analysis" ci aiuta a definire una prima linea guida nell'analisi dei fattori di variabilità dei dati.

In questa prima fase i dati a disposizione sono stati raggruppati per anni (2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009), ottenendo le matrici sopra riportate riportate (Tabelle 4.1 – 4.16): 8 matrici per i parametri chimico-fisici e 8 per quelli batteriologici, aventi come righe i 12 mesi dell'anno e come colonne i parametri caratterizzanti la qualità delle acque. Tra questi bisogna ricordare che, per quanto detto nel precedente paragrafo, le variabili chimico-fisiche che saranno sottoposte ad uno studio statistico sono state ridotte da 31 a 25, perché sono stati esclusi dalle elaborazioni: ammoniaca, nitriti, cobalto, nichel, cadmio e piombo..

4.2.1 Analisi Statistica Univariata

Sui parametri chimico-fisici e biologici fin qui esaminati, per tutti gli anni, è stata effettuata un'analisi statistica descrittiva al fine di determinare i principali indici statistici (media, moda, mediana, deviazione standard, curtosi, ecc.). Lo scopo della statistica descrittiva è di organizzare e riassumere in modo significativo i dati raccolti per evidenziare gli aspetti rilevanti ivi contenuti e descrivere quindi le caratteristiche della popolazione. Si è proceduto alla realizzazione di questa prima fase di analisi per tutti i parametri e i valori calcolati sono stati riportati nella *Tabella 4.17 e 4.18*.

PARAMETRI CHIMICI	Media	Errore St.	Mediana	Moda	Dev.st.	Varianza Camp.	Curtosi	A-simmetria	Intervallo	Min	Max	Cont.
Portata [l/s]	443,903	16,518	461	311	161,844	26193,636	-1,228	-0,128	534	180	714	96
Torbidità [FTU]	12,515	0,949	9,6	8,8	9,296	86,420	10,436	2,744	60,26	3,84	64,1	96
pH	8,127	0,015	8,15	8,27	0,145	0,021	-0,823	-0,380	0,6	7,82	8,42	96
Conducibilità 20° [µS/cm]	403,246	3,001	402	417	29,404	864,581	0,128	0,188	152,6	333	485,6	96
Temperatura acqua [°C]	14,940	0,527	14,65	18,3	5,161	26,634	-1,226	0,041	18,03	5,87	23,9	96
Alcalinità - P [mg/l CaCO ₃]	0,814	0,133	0,555	0	0,861	0,741	-0,567	0,797	3	0	3	42
Alcalinità - M [mg/l CaCO ₃]	173,503	1,676	175,1	174	10,864	118,022	0,863	-0,555	49,8	145,2	195	42
Durezza totale [mg/l CaCO ₃]	193,055	2,189	193,85	180	14,187	201,265	-0,387	0,163	56	167,5	223,5	42
Ossigeno disciolto [mg/l O ₂]	7,980	0,131	8	9,7	1,274	1,622	-0,596	0,021	5,9	5,4	11,3	94
Calcio [mg/l Ca ⁺⁺]	56,995	0,809	57,85	58,9	5,240	27,459	-0,173	-0,629	20,9	44,77	65,67	42
Magnesio [mg/l Mg ⁺⁺]	12,458	0,196	12,55	13,4	1,271	1,615	-0,440	-0,036	5,51	9,92	15,43	42
Cloruri [mg/l Cl]	10,790	0,302	9,8	9,6	2,939	8,639	2,547	1,345	14,99	6,2	21,19	95
Nitrati [mg/l NO ₃ ⁻]	1,282	0,104	1	1	1,012	1,025	2,106	1,437	4,85	0,09	4,94	94
Ossidabilità [mg/l O ₂ cons]	2,287	0,052	2,29	2,36	0,504	0,254	0,328	0,388	2,59	1,32	3,91	95
Solfati [mg/l SO ₄ ⁻²]	42,062	0,837	40,75	31,2	8,113	65,820	-1,002	0,333	29,26	30,24	59,5	94
Alluminio [mg/l Al ⁺⁺⁺]	0,933	0,085	0,6805	0,76	0,805	0,648	11,508	3,085	4,69	0,31	5	90
Fluoruri [mg/l F]	0,197	0,002	0,2	0,2	0,020	0,000	1,888	0,260	0,13	0,14	0,27	93
Sodio [mg/l Na ⁺]	20,890	0,430	21,3	21	2,717	7,383	-0,191	-0,546	11	14,3	25,3	40
Potassio [mg/l K ⁺]	2,721	0,047	2,755	2,8	0,298	0,089	0,100	0,276	1,4	2,1	3,5	40
Cromo [µg/l Cr ⁺⁶]	0,982	0,313	0	0	1,877	3,525	4,385	2,210	7,6	0	7,6	36
Ferro [µg/l Fe ⁺⁺]	347,460	54,964	186,5	-	485,433	235644,882	13,172	3,426	2777,1	23,9	2801	78
Manganese [µg/l Mn]	29,231	2,257	24	24	21,413	458,496	12,121	2,786	150	2	152	90
Bario [µg/l Ba]	43,446	2,415	40,8	44	21,601	466,60	1,367	1,046	111,4	0	111,4	80
Rame [µg/l Cu]	1,078	0,445	0	0	4,077	16,620	54,747	7,045	34,2	0	34,2	84
Carbonio Org.Tot. [mg/l C]	3,573	0,148	3,35	2,05	1,370	1,876	1,909	1,255	7,185	1,44	8,625	86

Tabella 4.17: Statistica descrittiva per parametri chimico-fisici

PARAMETRI BATTERIOLOGICI	Media	Errore St.	Mediana	Moda	Dev.st.	Varianza Camp.	Curtosi	Asimm.	Interv.	Min	Max	Cont.
Coliformi Totali [ufc/100ml]	361,073	18,159	426,2	448	130,945	17146,489	-0,669	-0,805	431,46	64	495,46	52
Coliformi Totali [MPN/100ml]	480,545	59,784	341	-	396,564	157262,998	2,309	1,702	1557	85	1642	44
Coliformi Fecali [ufc/100ml]	21,553	3,104	10,36	2	29,446	867,058	7,301	2,518	161	1	162	90
Enterococchi [ufc/100ml]	17,297	2,714	5	1	26,589	706,952	5,872	2,309	143	0	143	96
Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	15,968	0,957	14,065t	18	9,278	86,088	2,217	1,258	51,17	1,33	52,5	94
Colonie in Agar 37°C [ufc/100ml]	47,970	3,223	38,615	18	31,583	997,472	1,580	1,365	157,12	10,88	168	96
Colonie in Agar 22°C [ufc/100ml]	76,341	5,893	57,56	22	56,829	3229,537	0,951	1,306	228,36	11,64	240	93
Escherichia coli [ufc/100ml]	26,188	3,800	14,52	14	27,405	751,020	1,540	1,444	111,13	0,87	112	52
Escherichia coli [MPN/100ml]	19,455	6,455	5	3	42,820	1833,556	22,867	4,469	257	0	257	44
Aeromonas spp [ufc/100ml]	471,232	16,027	441,5	460	157,036	24660,451	3,115	1,508	936,33	87,67	1024	96
Alghie [N°/ml]	2473,336	323,330	1438,7	644	3151,435	9931541,755	23,443	4,243	23408,3	359,7	23768	95
Attinomiceti [ufc/100ml]	49,127	2,980	40,25	28	29,193	852,255	1,985	1,528	137	7	144	96
Funghi [ufc/100ml]	14,860	0,854	13,75	5	8,364	69,956	2,943	1,407	42,5	2,5	45	96
Lieviti [ufc/100ml]	267,492	4,703	288,75	300	46,084	2123,767	3,538	-1,807	232	68	300	96
Stafilococchi pat. [ufc/250ml]	15,348	2,921	7,5	5	28,467	810,385	31,441	5,340	194	0	194	95

Tabella 4.18: Statistica descrittiva per parametri batteriologici

In entrambe le tabelle si osserva che in corrispondenza della moda sia per il Ferro che per i Coliformi Totali (espressi in MPN) non si ha alcun valore numerico, indice che in entrambi i campioni non si hanno ripetizioni di valori.

Per quanto riguarda, invece, i valori delle curtosi: mentre nei parametri chimico-fisici l'andamento è variabile, nei parametri batteriologici i valori sono quasi sempre positivi, ad eccezione dei coliformi totali che hanno una curtosi negativa; ovvero i dati hanno una distribuzione che segue una curva platicurtica (curva appiattita rispetto ad una gaussiana). In particolare, per i parametri chimico-fisici si evince che in alcuni casi la curtosi è quasi nulla, indice di una curva quasi normocurtica (distribuzione normale), situazione non riscontrata per i parametri batteriologici che hanno curtosi positiva indice di una curva leptocurtica, ovvero con valori concentrati nell'intorno della media.

Stesso discorso va fatto anche per l'asimmetria, che ha andamento variabile nei parametri chimico-fisici,

mentre in quelli batteriologici ha valore positivo, ad eccezione dei coliformi totali (espressi in ufc) e dei lieviti che presentano valori negativi. L'asimmetria negativa indica una distribuzione con una coda asimmetrica che si estende verso i valori più negativi: esistono quindi molti valori con forti scarti negativi e pochi valori con deboli scarti positivi.

Per valutare la dispersione o la variabilità dei dati si è fatto ricorso alla lettura degli indici di dispersione, in questo caso rappresentati dalla varianza e dalla deviazione standard. Per ambedue le classi di parametri (chimico-fisici e batteriologici) tali indici risultano molto elevati segno che i valori sono dispersi intorno alla media. Infine nell'ultima colonna, in cui è presente il conteggio dei dati numerici a disposizione per ogni parametro, si trova conferma di quanto detto nel paragrafo 4.1 riguardo i dati mancanti. Si può notare, infatti, che solo alcuni dei parametri esaminati presentano la totalità dei dati a disposizione (96), mentre per molti si hanno informazioni in numero inferiore. Sono stati messi in evidenza il numero di dati a disposizione per i coliformi totali e l'escherichia coli, che presentano due voci ciascuno, perché come spiegato in precedenza, questi sono stati raggruppati a seconda dell'unità di misura. La somma dei due valori evidenziati è 96, pertanto non ci sono dati mancanti, ma verranno semplicemente analizzati separatamente fino ad aprile 2006 e a partire da maggio 2006 in poi.

Al fine di valutare l'andamento generale dei parametri analizzati durante gli otto anni di campionamento, si riportano di seguito i grafici relativi ad alcuni dei parametri in esame, mettendone in evidenza il valore medio.

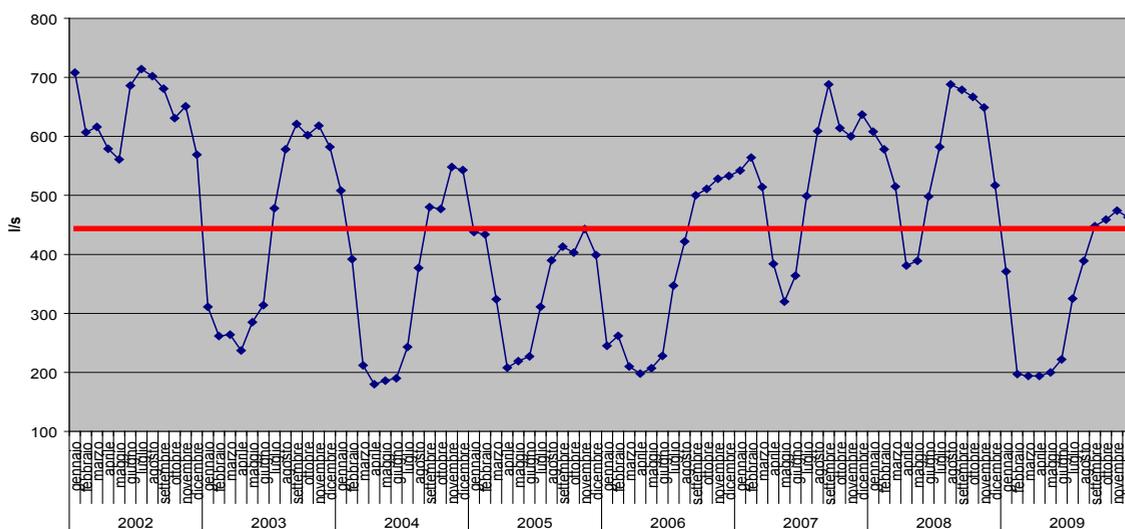


Figura 4.3: Andamento della Portata (2002-2009)

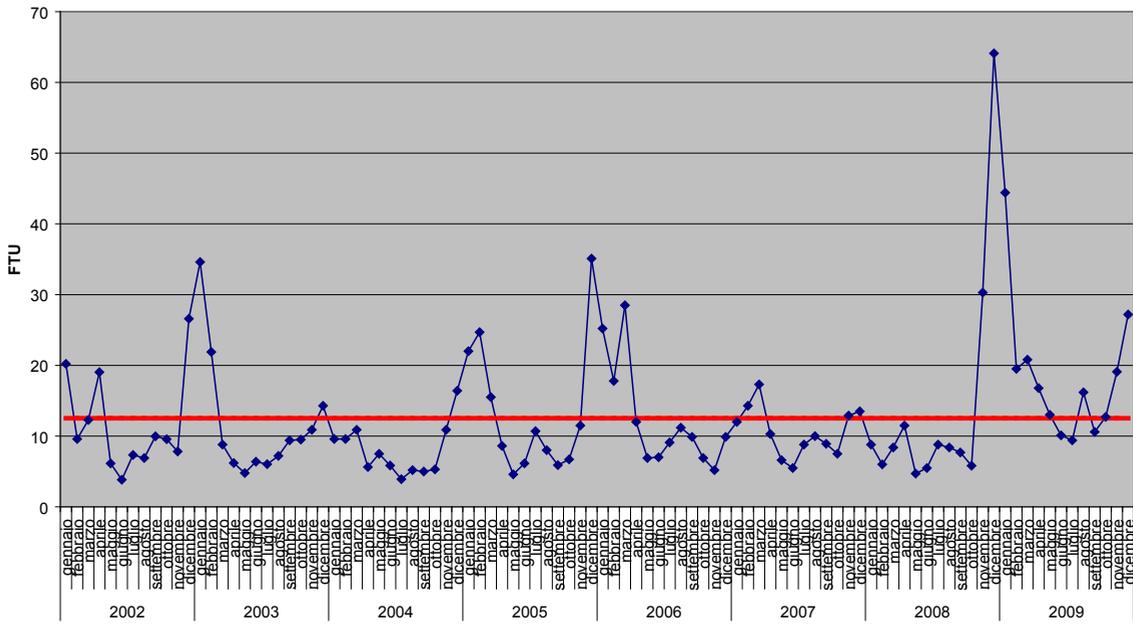


Figura 4.4: Andamento della Torbidità (2002-2009)

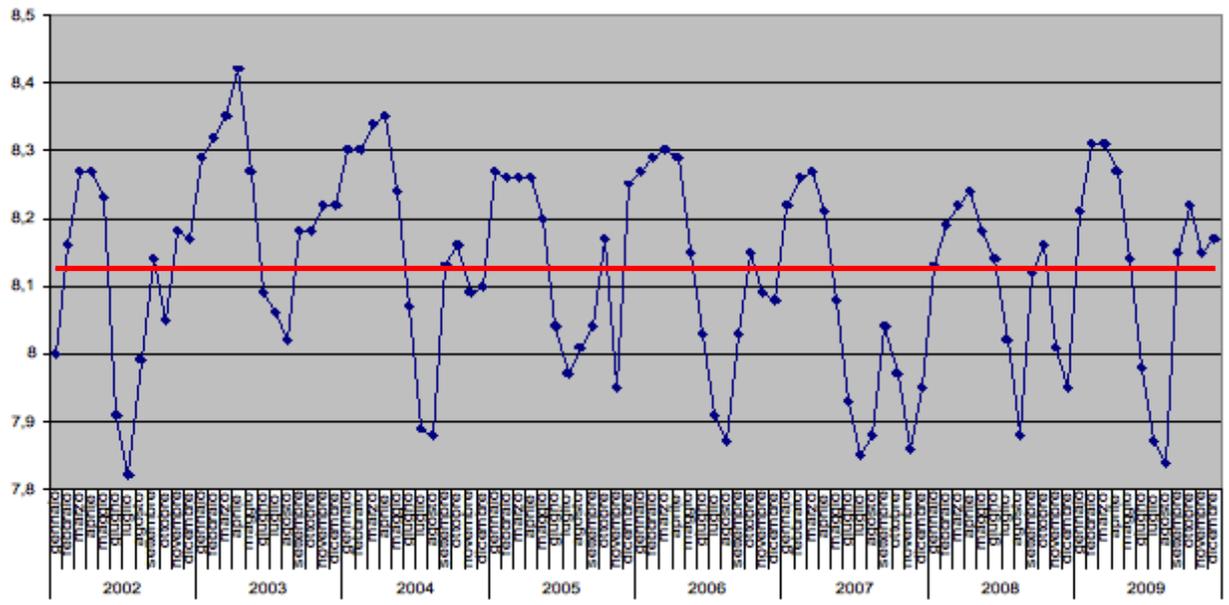


Figura 4.5: Andamento del pH (2002-2009)

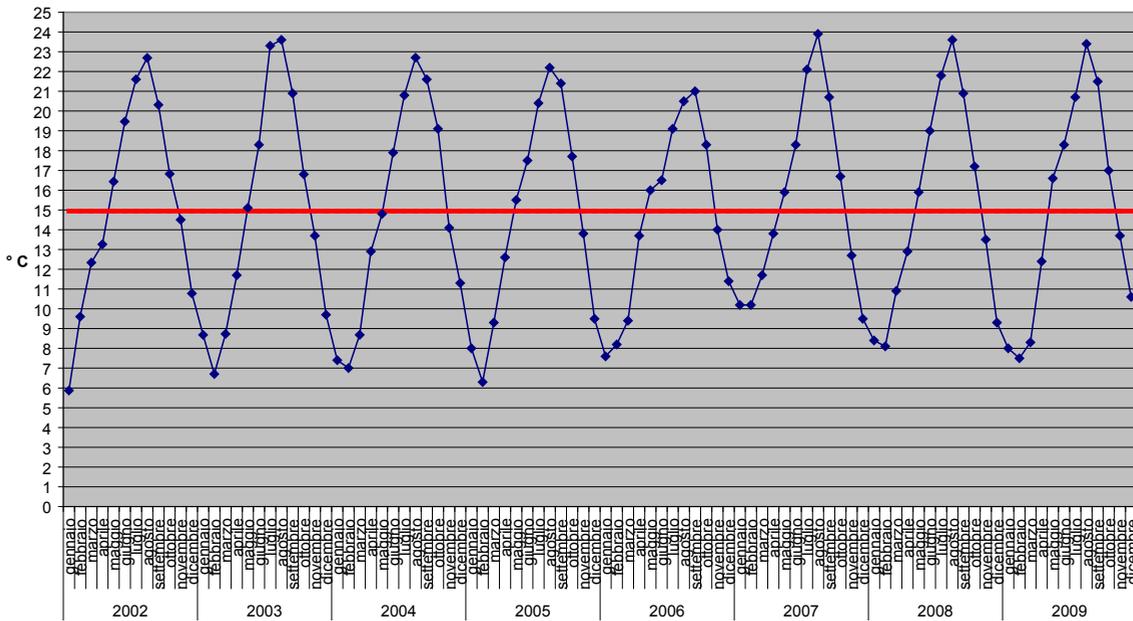


Figura 4.6: Andamento della Temperatura (2002-2009)

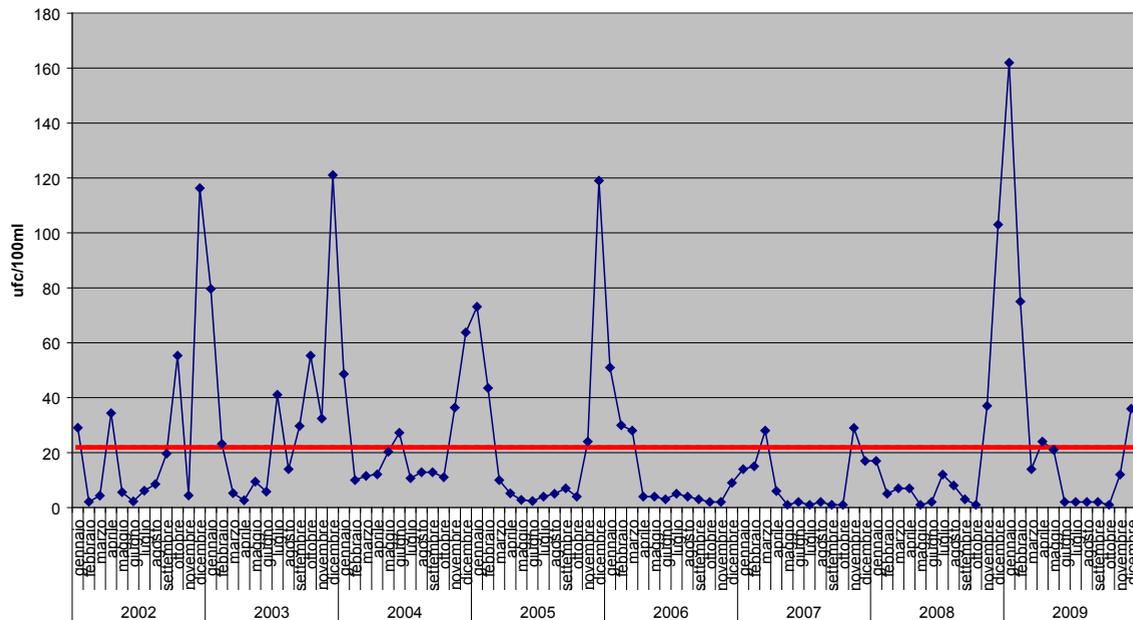


Figura 4.7: Andamento dei Coliformi Fecali (2002-2009)

Nelle Figure 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 si può notare il valore medio, rappresentato sul grafico mediante una linea rossa, che permette di visualizzare meglio quali dati si discostano maggiormente da esso. Inoltre, in

Figura 4.6 è chiaramente evidente l'andamento ciclico della variazione di temperatura, che è influenzato sensibilmente dalla temperatura dell'ambiente esterno e cioè dall'alternarsi delle stagioni, presentando punte minime nei mesi invernali e picchi in quelli estivi.

Analizzando poi gli stessi grafici alla ricerca di alcuni break-point, ovvero punti di rottura nella logica della distribuzione, si nota che nei nitrati, in corrispondenza di ottobre 2005 l'andamento di questo parametro, che finora si era discostato di molto dal valore medio, si avvicina maggiormente alla media nei mesi a seguire. Anche nella distribuzione dei valori relativi agli aeromonas è possibile individuare un break-point, notando che l'andamento dell'anno 2002 e quello del 2009 sono completamente opposti rispetto alla media.

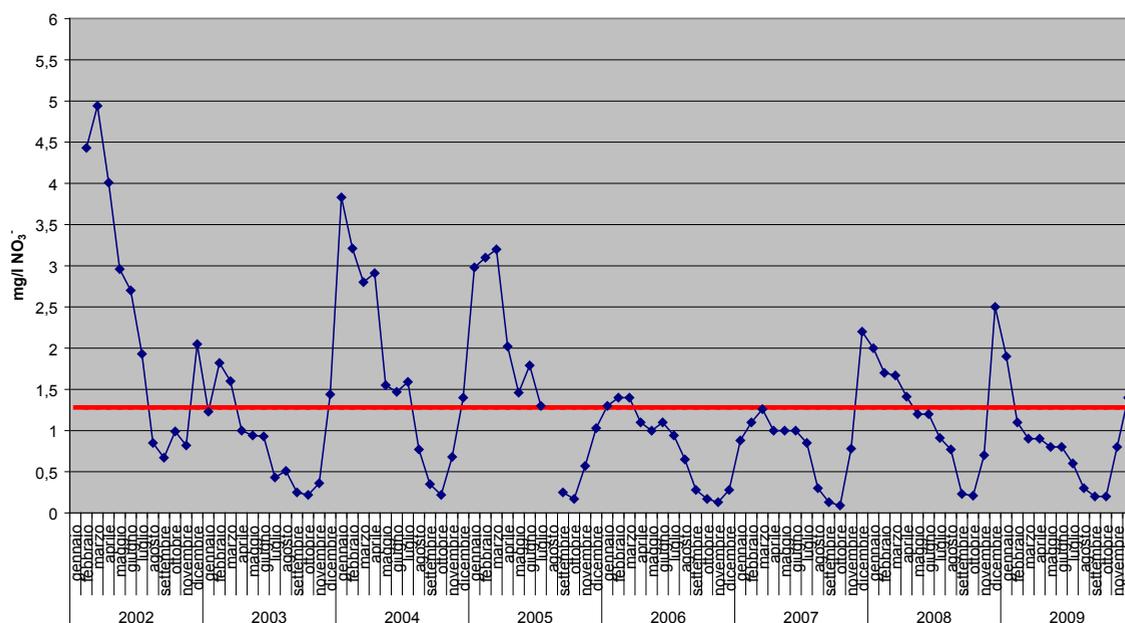


Figura 4.8: Andamento dei Nitrati (2002-2009)

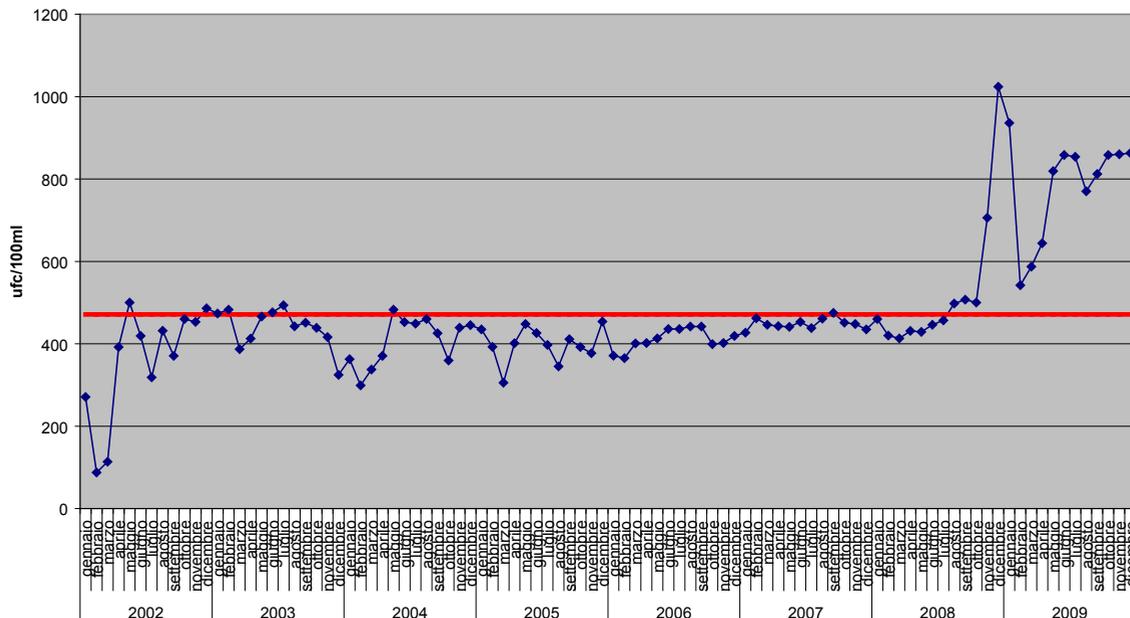


Figura 4.9: Andamento degli Aeromonas (2002-2009)

Sia i parametri chimico-fisici sia quelli batteriologici sono stati analizzati non solo sulla totalità degli otto anni di campionamento a disposizione, ma anche separatamente, andando a graficare anno per anno la distribuzione dei diversi parametri, mettendo così maggiormente in risalto l'andamento stagionale della variabilità di alcuni parametri.

Di seguito si riportano solo alcuni dei grafici in questione.

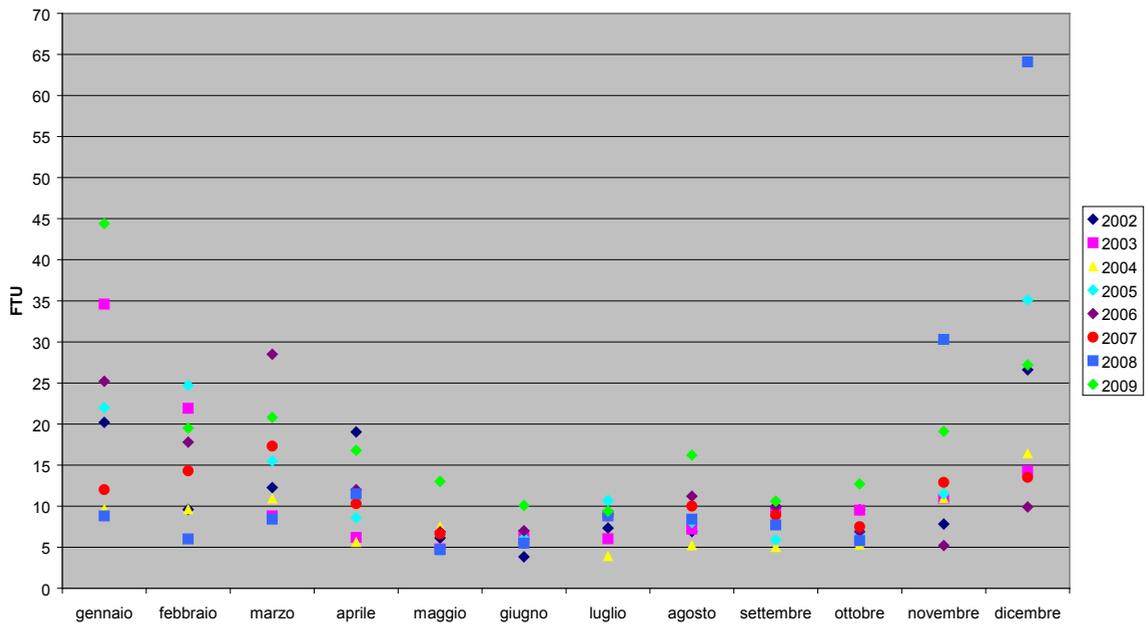


Figura 4.10: Andamento di ogni singolo anno relativo alla Torbidità

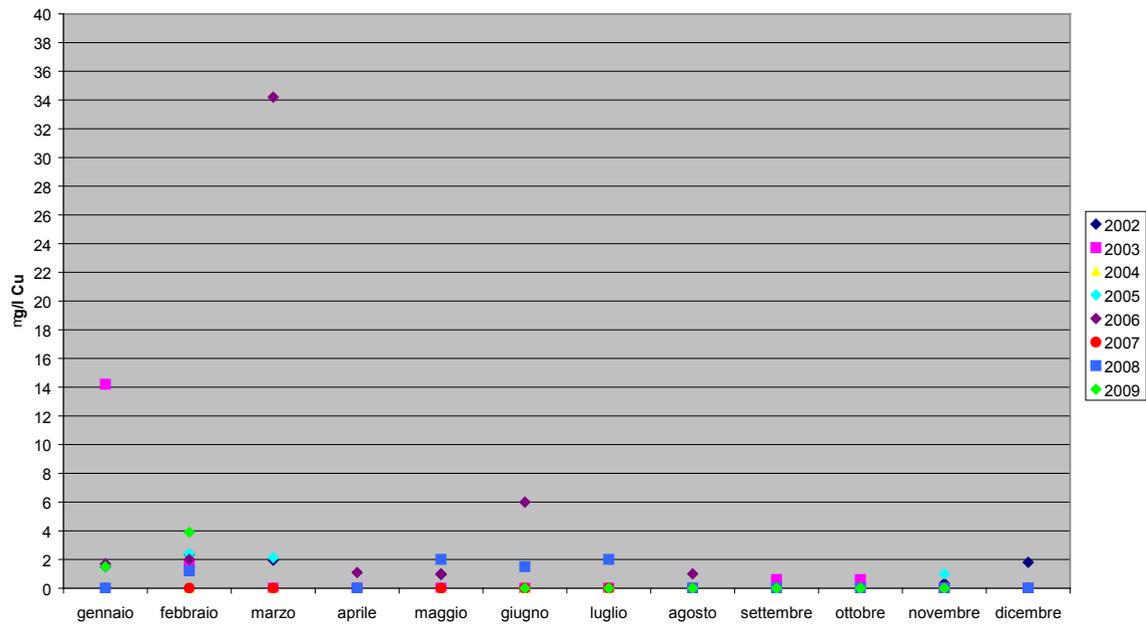


Figura 4.11: Andamento di ogni singolo anno relativo al Rame

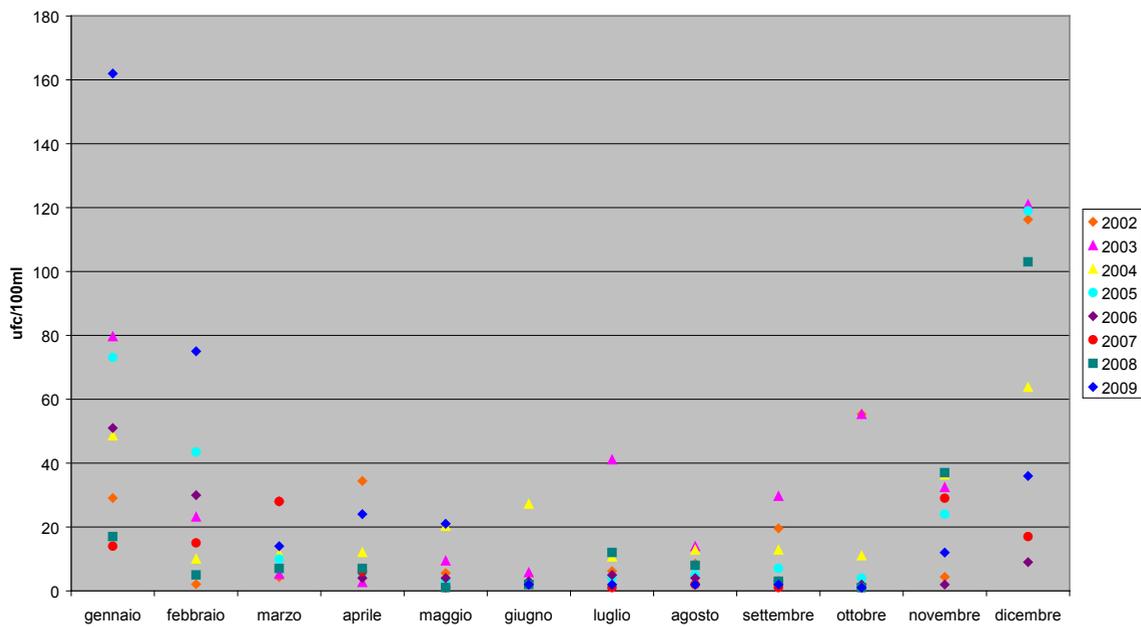


Figura 4.12: Andamento di ogni singolo anno relativo ali Coliformi fecali

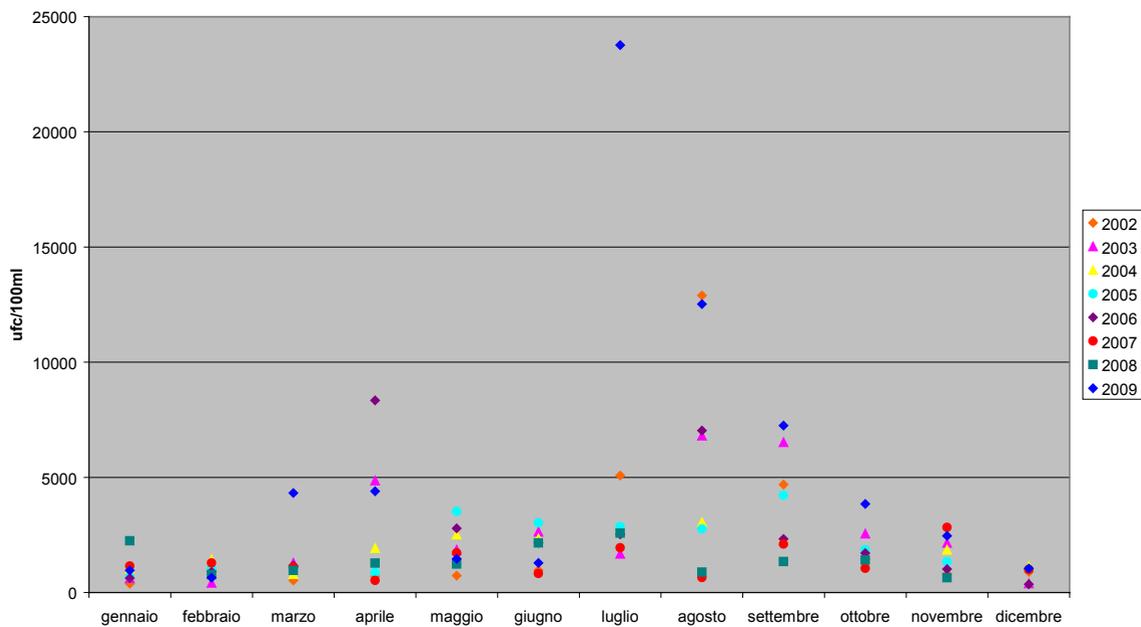


Figura 4.13: Andamento di ogni singolo anno relativo alle Alghe

A questo punto, già da una prima analisi visiva dei grafici fin qui ottenuti, si evincono dei valori “anomali” o *outliers*, ovvero quei valori che si discostano dal resto dei dati del campione e che possono influenzare in maniera forviante la stima della distribuzione delle frequenze. Gli outliers possono essere distinti in^[18]:

- *outliers non rappresentativi*: valori anomali a causa di veri e propri errori in fase di compilazione spesso legati all’errata misurazione. La loro non rappresentatività va intesa con riferimento alle unità della popolazione non incluse nel campione, perché non contribuiscono alla variabilità campionaria fornendo informazioni su di esse;
- *outliers rappresentativi*: valori anomali non dovuti ad errori di misura, bensì ad eventi relativi all’unità di riferimento non (del tutto) valutabili sulla base delle informazioni disponibili su di essa. Si tratta comunque di osservazioni rappresentative di un certo numero di unità della popolazione non incluse nel campione, di cui generalmente non si conosce l’ammontare.

Pur facendo maggiormente riferimento alla seconda tipologia, in questa prima fase si utilizzerà il termine outlier nella sua massima generalità, anche perché in pratica non è sempre possibile distinguere con certezza tra le due tipologie suddette.

Pertanto, in presenza di outliers, le soluzioni più frequenti in pratica consistono:

- a. nel non considerare affatto le unità outlier nei calcoli;
- b. nel correggere il dato outlier sostituendovi un dato “corretto”, ad esempio tramite donazione od imputazione della variazione media registrata per le unità non outlier;
- c. nel non alterare il dato elementare, ma nel correggere (generalmente diminuendolo) il peso con cui tale dato entra nella procedura di stima della variazione media complessiva dello strato di riferimento.

In generale, non esiste un approccio al problema che risulti sempre preferibile, dipendendo la scelta dal grado di conoscenza del fenomeno studiato, dall’ammontare degli interventi sui microdati e dalle stesse finalità dell’indagine. Nel caso di studio in questione, non è stato così immediato identificare gli outliers, perché, essendo la popolazione dei dati di partenza molto ampia, anche quei valori che sembrano discostarsi di molto dalla media possono essere collegati a variazioni nello stesso senso di altri parametri. Pertanto, l’analisi degli outliers verrà ripresa in seguito preliminarmente all’analisi multivariata, applicando un metodo che porti in conto le relazioni tra le diverse variabili.

Entrando nel vivo dell’analisi statistica univariata, si procede con l’analisi delle frequenze.

Per ogni variabile è stato definito un numero di classi in cui ripartire i dati, per fare ciò è necessario calcolare la radice quadrata del numero di osservazioni, approssimando il numero ottenuto all’intero più vicino.

Calcolato il numero di classi in cui ripartire i dati in ingresso, è possibile valutare l’ampiezza di ogni classe dividendo il valore di intervallo riportato nelle precedenti tabelle per il numero delle classi appena stabilito. Per calcolare gli estremi della prima classe è sufficiente sommare al valore minimo del campione (estremo inferiore) quello dell’intervallo di variabilità per ottenere l’estremo superiore, ripetendo l’operazione per ogni classe, a partire dal limite superiore della classe precedente, avremo diversi intervalli all’interno dei quali andare a valutare quante osservazioni si collocano.

A questo punto con l’ausilio di excel è stato possibile calcolare le frequenze cumulative per ogni classe e

diagrammare il tutto con gli “istogrammi delle frequenze”. A modo di esempio si riportano di seguito alcuni dei grafici che consentono di verificare la distribuzione delle variabili analizzate.

PORTATA		
Classe	Frequenza	% cumulativa
234,50	16	16,67%
289,00	7	23,96%
343,50	6	30,21%
398,00	10	40,63%
452,51	8	48,96%
507,01	9	58,33%
561,51	11	69,79%
616,01	14	84,38%
670,51	7	91,67%
Altro	8	100,00%

Tabella 4.19: Classi di Frequenza Portata

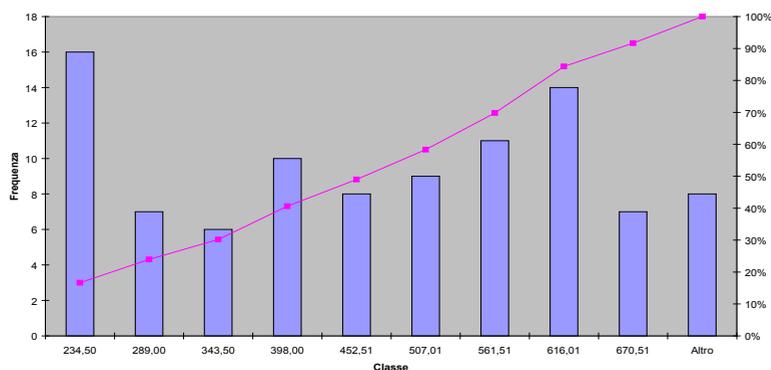


Figura 4.12: Istogramma di Frequenza Portata

TORBIDITÀ		
Classe	Frequenza	% cumulativa
9,99	53	55,21%
16,14	21	77,08%
22,29	12	89,58%
28,44	4	93,75%
34,59	2	95,83%
40,74	2	97,92%
46,89	1	98,96%
53,04	0	98,96%
59,19	0	98,96%
Altro	1	100,00%

Tabella 4.20: Classi di Frequenza Torbidità

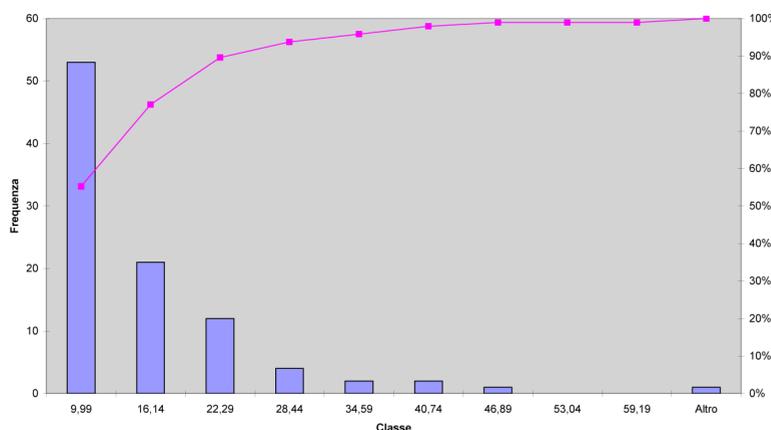


Figura 4.13: Istogramma di Frequenza Torbidità

pH		
Classe	Frequenza	% cumulativa
7,88	9	9,38%
7,94	4	13,54%
8,00	8	21,88%
8,06	11	33,33%
8,13	8	41,67%
8,19	19	61,46%
8,25	12	73,96%
8,31	18	92,71%
8,37	6	98,96%
Altro	1	100,00%

Tabella 4.21: Classi di Frequenza pH

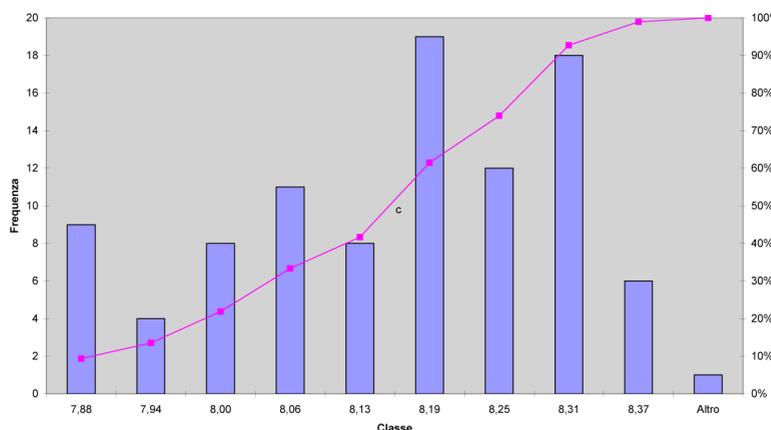


Figura 4.14: Istogramma di Frequenza pH

Ci sono diversi metodi per valutare se una variabile ha una distribuzione normale. Innanzitutto, è possibile osservare l'andamento dell'istogramma della distribuzione di frequenze di ciascuna variabile, per vedere se ha la tipica forma “a campana” oppure valutare se la media, la mediana e la moda coincidono tra loro. Dall'analisi dei grafici finora realizzati e dalla statistica descrittiva si evince che nessun parametro esaminato segue una distribuzione perfettamente normale. Per poter proseguire con le successive analisi statistiche è opportuno standardizzare la matrice dei dati di partenza, sempre, ricordando di trascurare ammoniaca, nitriti, cobalto, nichel, cadmio e piombo.

La standardizzazione è un procedimento che riconduce una variabile aleatoria distribuita secondo una [media](#) μ e varianza σ^2 , ad una variabile aleatoria con distribuzione “standard”, ossia di media zero e varianza pari a 1 (*paragrafo 3.1.1*).

La distribuzione normale è la distribuzione teorica per eccellenza, essa costituisce un punto di riferimento nella ricerca empirica, sia nelle scienze naturali sia nelle scienze umane.

^[7]La normalità della distribuzione è alla base di molte analisi univariate o multivariate, e per questo motivo rappresenta un'assunzione che va verificata sui dati. Nel caso della distribuzione normale univariata si fa riferimento alla distribuzione di una singola variabile, nel caso della normalità multivariata si fa riferimento alla generalizzazione della normale quando le variabili considerate sono k (dove $k > 1$).

Come è noto, la distribuzione normale univariata assume la classica forma a campana, è unimodale, simmetrica rispetto alla media (quindi media e mediana coincidono, e coincidono anche con la moda) e presenta due punti di flesso per $x = \mu - \sigma$, e $x = \mu + \sigma$ (dove μ e σ sono rispettivamente la media e la deviazione standard della distribuzione).

In realtà, è bene parlare di “famiglia di distribuzioni normali univariate” alla quale appartengono diverse distribuzioni normali definite da due parametri fondamentali: la media e la deviazione standard della distribuzione. Tutte le distribuzioni normali possono essere ricondotte ad un'unica distribuzione, la *normale standardizzata*, attraverso le usuali procedure di calcolo dei punteggi standardizzati z , la cui distribuzione è nota e i cui valori di probabilità sono stati tabulati. Ciò la rende particolarmente utile nella verifica delle ipotesi statistiche.

Oltre l'osservazione degli istogrammi delle distribuzioni, un altro tipo di esame grafico per verificare la normalità di una distribuzione è basato sulla rappresentazione dei “quantili” o Q-Q Plot: con questo metodo si confrontano i quantili della distribuzione della variabile, rispetto ai quantili della distribuzione normale. Si ricorda che i quantili sono quegli indici di posizione che consentono di suddividere una distribuzione in un certo numero prestabilito di parti uguali. Questa tipologia di grafico confronta la distribuzione cumulata della variabile in esame con la distribuzione cumulata normale. Se la variabile si distribuisce in forma normale, i punti di tale distribuzione congiunta sono addensati sulla diagonale che va dal basso verso l'alto, e da sinistra verso destra.

La costruzione dei Q-Q plots è stata realizzata con l'ausilio del software di *data-mining* SPSS, in cui sono stati utilizzati, non più i dati di partenza, bensì quelli standardizzati.

Di seguito (Figure 4.17 – 4.24) sono messi a confronto gli istogrammi di frequenza e i Q-Q plots relativi ad alcuni parametri che seguono una distribuzione pressoché normale.

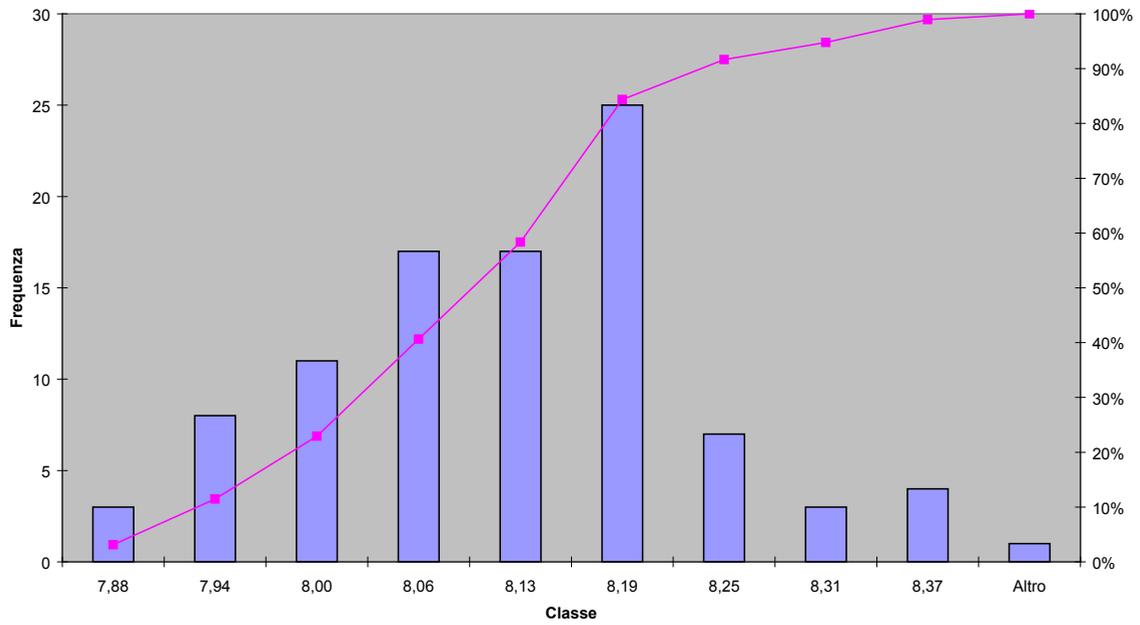


Figura 4.17: Istogramma di Frequenza Conducibilità

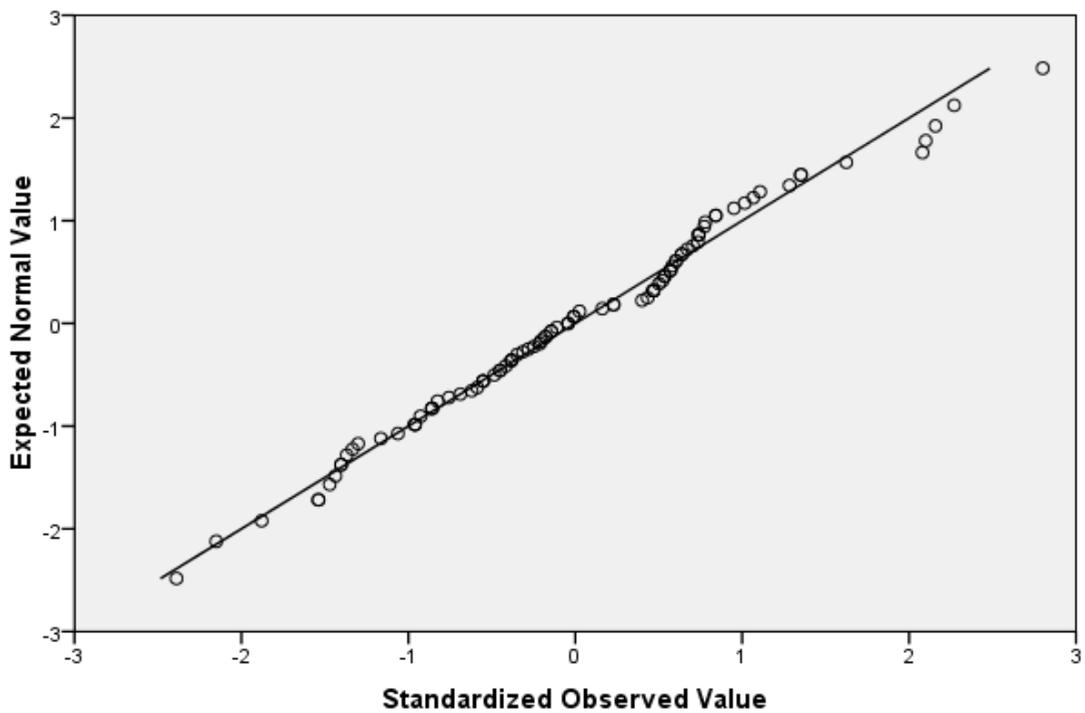


Figura 4.18: Q-Q plot Conducibilità

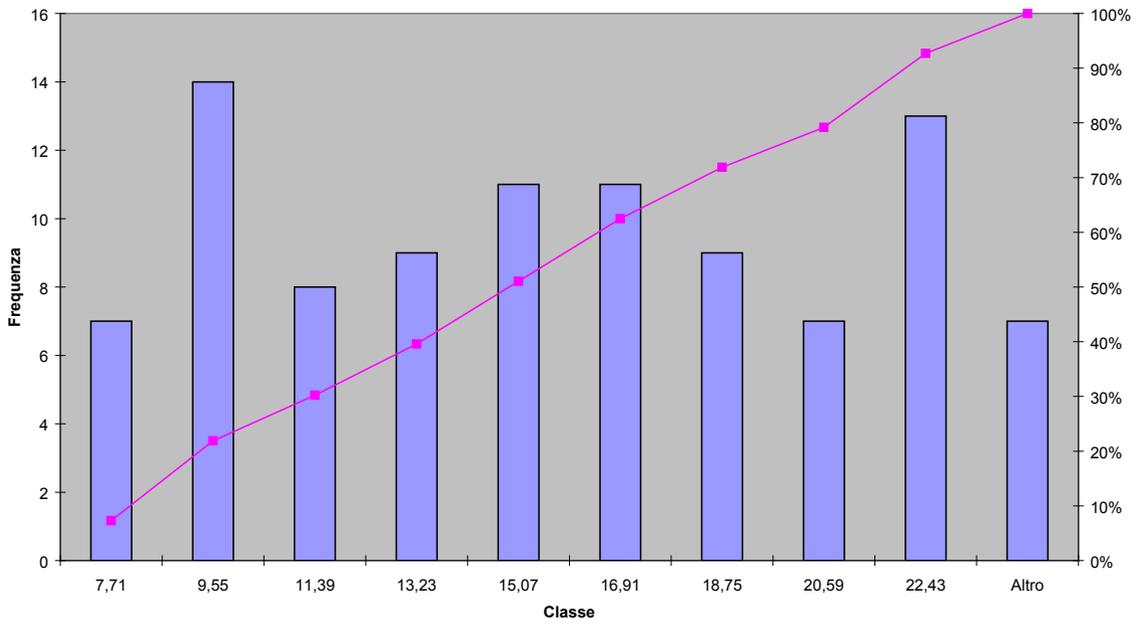


Figura 4.19: Istogramma di Frequenza Temperatura

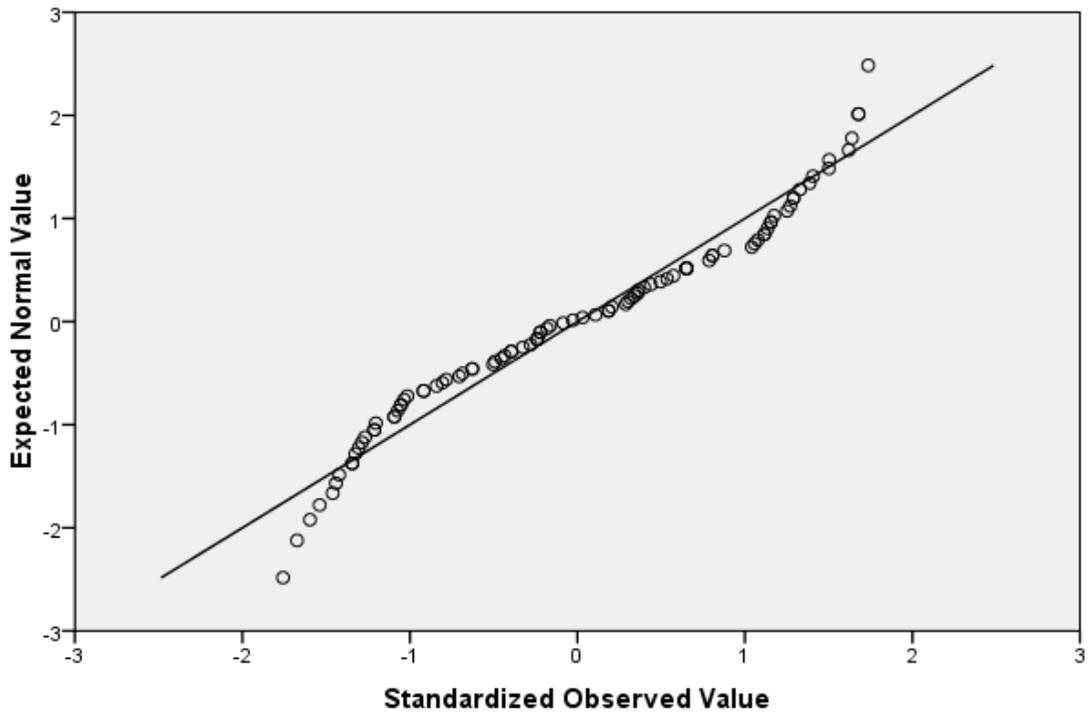


Figura 4.20: Q-Q plot Temperatura

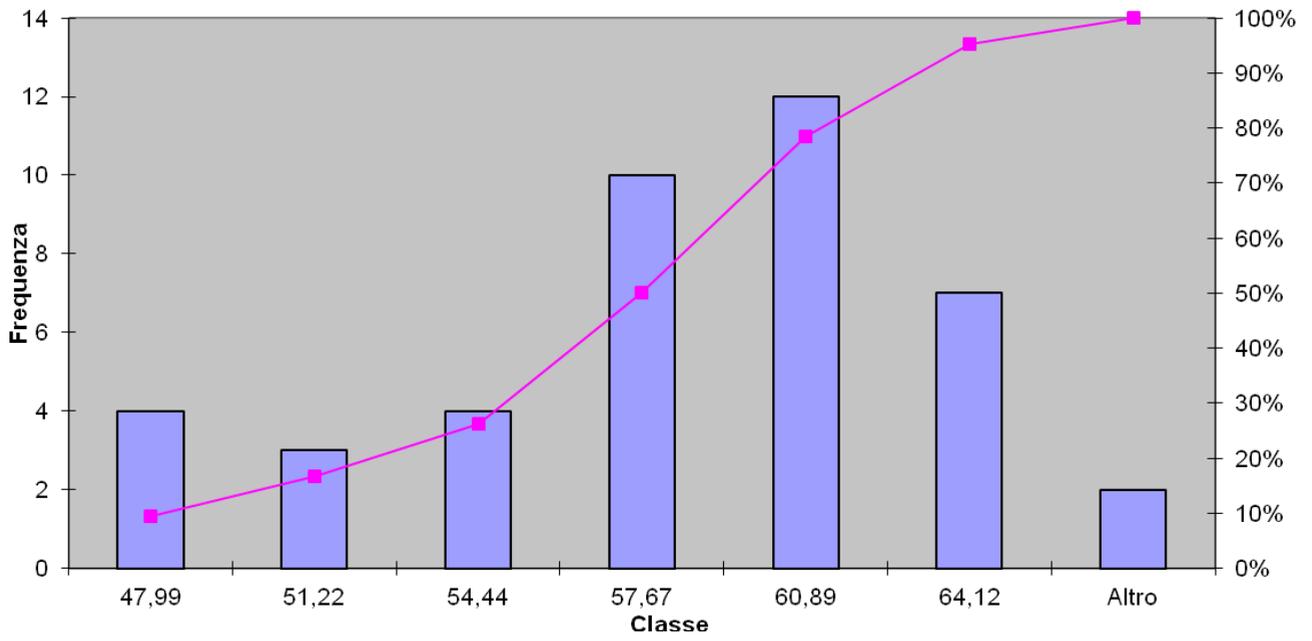


Figura 4.21: Istogramma di Frequenza Calcio

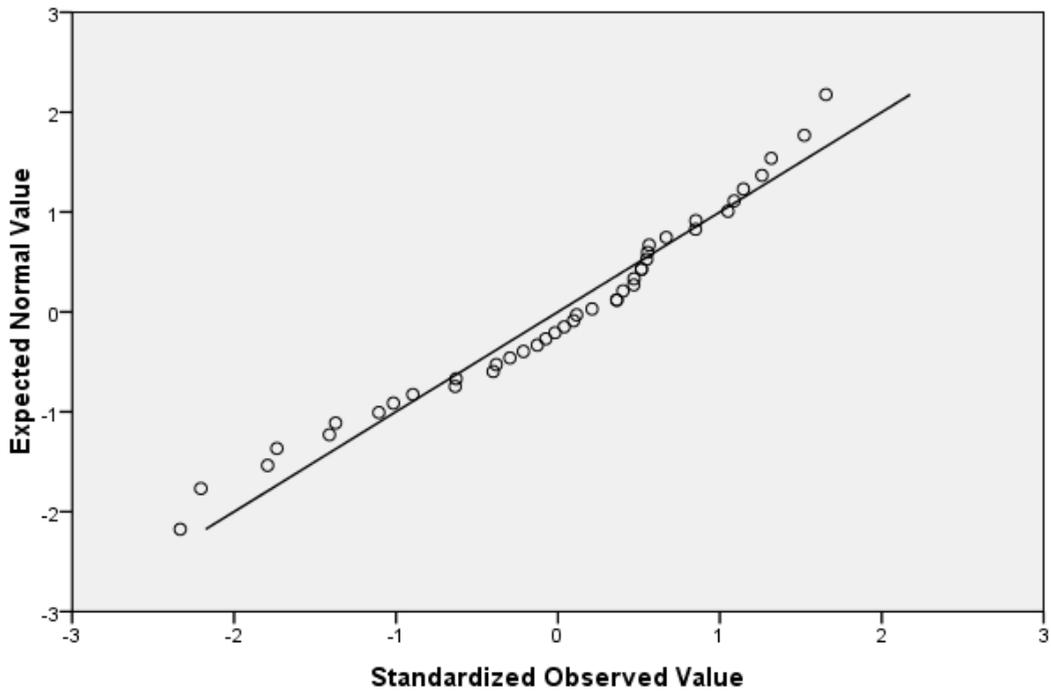


Figura 4.22: Q-Q plot Calcio

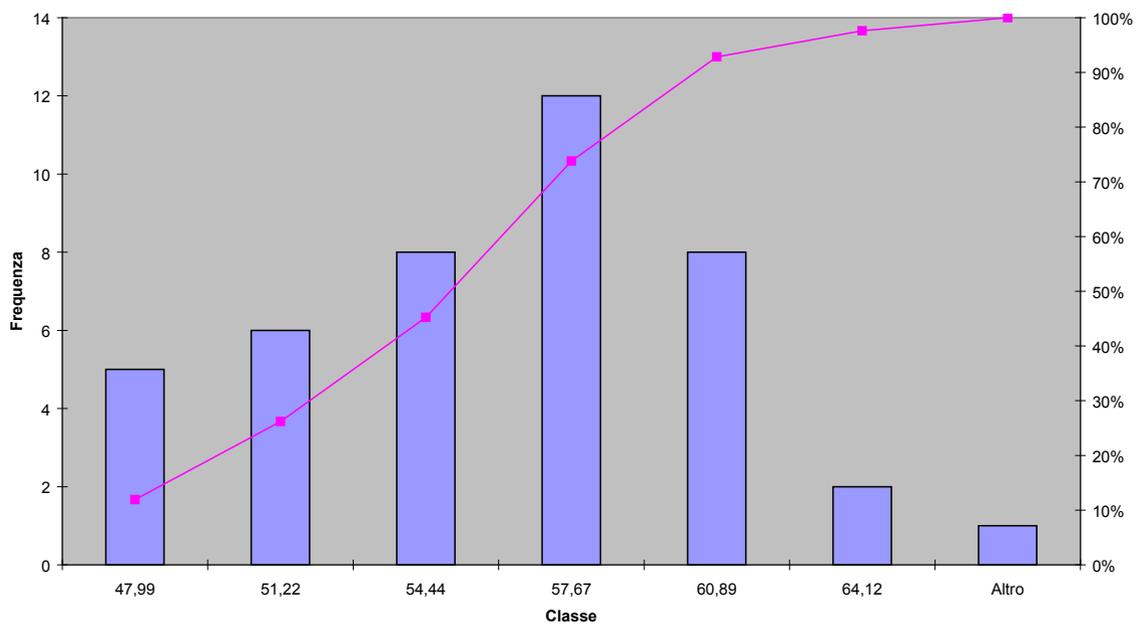


Figura 4.23: Istogramma di Frequenza Magnesio

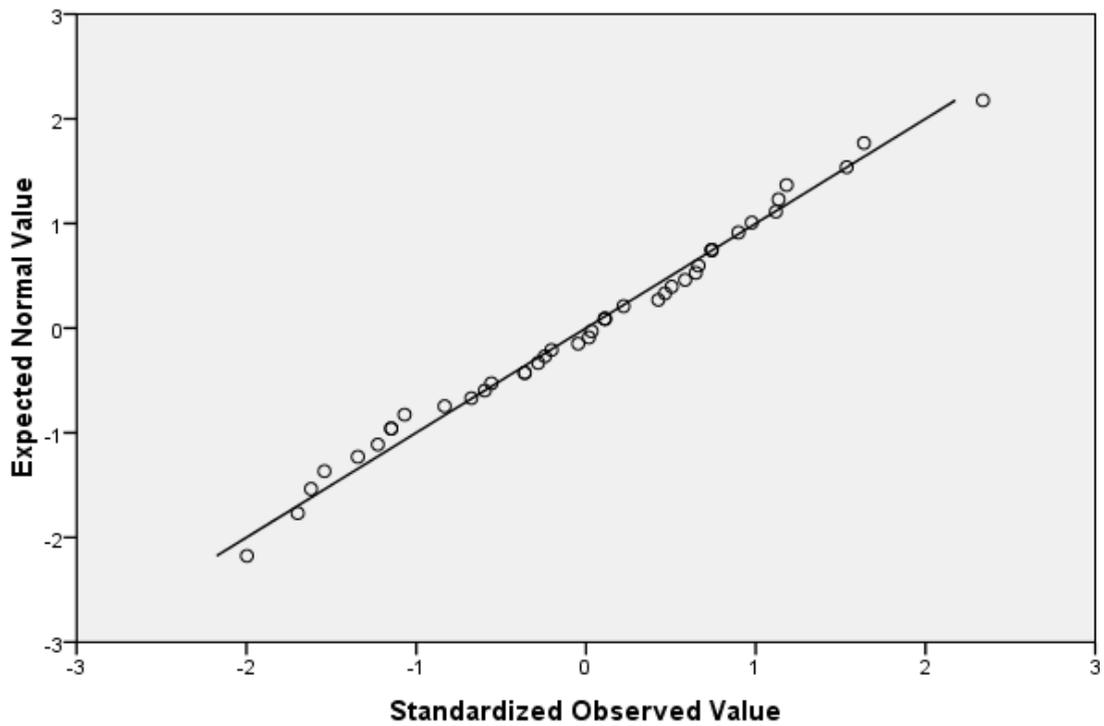


Figura 4.24: Q-Q plot Magnesio

Dall'analisi visiva degli istogrammi di frequenza e dalla lettura dei Q-Q plots, è possibile confermare che la maggior parte dei parametri non segue una distribuzione normale ad eccezione di pochi, tra cui quelli appena riportati, che presentano un andamento di distribuzione molto vicino a quello gaussiano. Di seguito (Figure 4.25 – 4.26) si riportano solo alcuni dei Q-Q plots delle variabili che presentano una distribuzione ben lontana da quella normale.

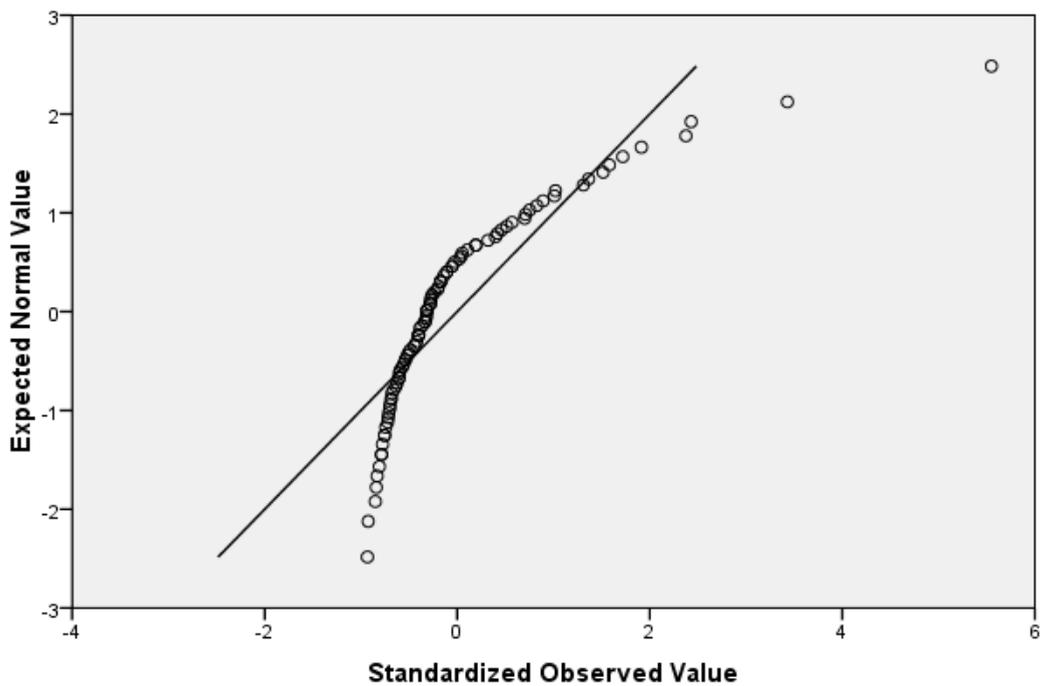


Figura 4.25: Q-Q plot Torbid

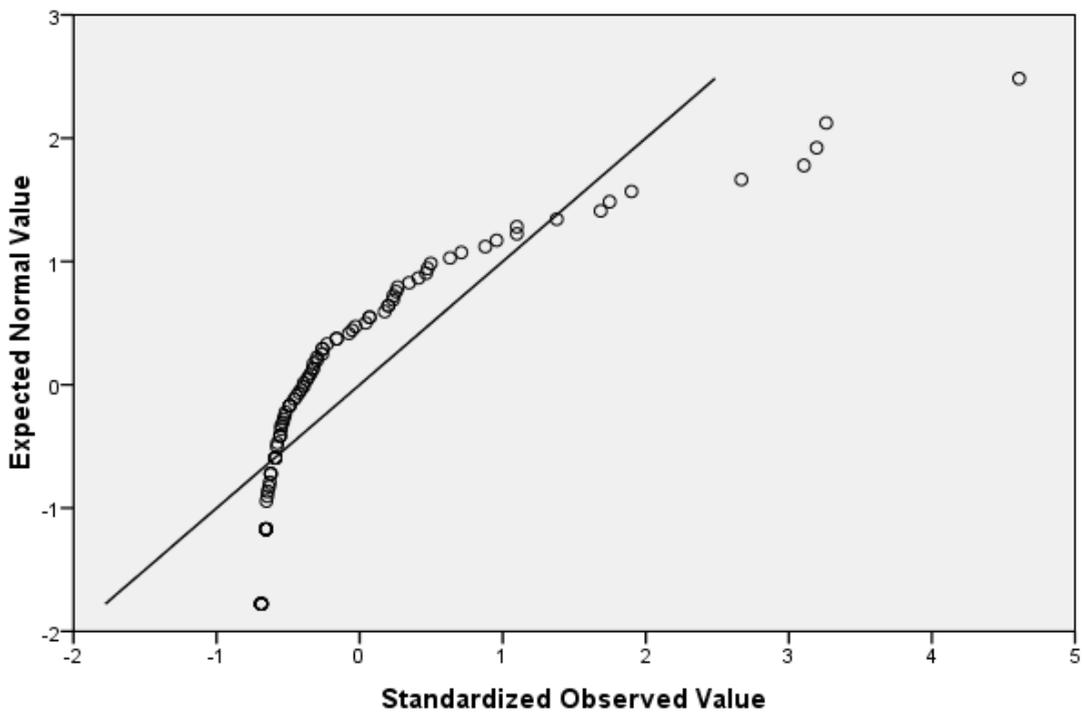


Figura 4.26: Q-Q plot Coliformi Fecali

4.2.2 Analisi Statistica Bivariata

Per procedere con lo studio statistico del campione di dati in esame occorre utilizzare i valori standardizzati dei parametri d'interesse per renderli paragonabili in un'analisi di tipo bivariato. L'analisi bivariata permette di esplorare le relazioni tra due insiemi di valori alla ricerca di associazioni. Una volta trasformati i coefficienti di regressione in coefficienti di regressione standardizzati, è possibile confrontarli e stabilire l'importanza relativa di ciascuna variabile indipendente. Nel caso della rilevazione congiunta di due variabili, è possibile procedere sia all'analisi della regressione, che all'analisi della correlazione, da considerare tra loro concettualmente alternative, seppure fondate su principi e metodi simili.^[1] Si ricorre all'analisi della regressione quando dai dati campionari si vuole ricavare un modello statistico che predica i valori di una variabile (Y), detta dipendente o più raramente predetta, individuata come effetto, oppure i valori dell'altra variabile (X), detta indipendente o esplicativa, individuata come causa. Si utilizza l'analisi della correlazione, invece, quando si vuole misurare l'intensità dell'associazione tra due variabili quantitative (X e Y) che variano congiuntamente, senza che tra esse esista una relazione diretta di causa-effetto. Può esserci correlazione anche quando entrambe sono legate ad una terza variabile oppure può derivare da un'evoluzione temporale simile o per una differenziazione spaziale analoga. Un primo approccio all'analisi bivariata è la creazione di un diagramma a dispersione o *scatter plot*, che mostra su un piano XY un punto per ogni coppia di valori. In questa fase sono stati costruiti dei grafici bidimensionali (*scatter plots*), attraverso i quali è illustrata la distribuzione dei dati di due variabili e l'equazione della retta di regressione. Per poter meglio individuare la correlazione esistente tra le coppie di variabili si è calcolato il coefficiente di correlazione R, che misura il grado di relazione lineare esistente tra due campioni casuali e varia tra -1 e 1. I valori positivi di R indicano l'esistenza di una correlazione lineare positiva o diretta, i valori negativi indicano una correlazione negativa o inversa; R vale 1 o -1 quando esiste una perfetta correlazione lineare di tipo diretto o inverso tra le due variabili considerate, mentre ha valore pari a 0 quando vi è assenza di correlazione. Ovviamente due variabili saranno tanto più correlate fra loro quanto più il valore di R è prossimo all'unità. Nell'analisi dei diversi scatter plots occorre porre particolare attenzione al valore del coefficiente di determinazione R^2 (quadrato del coefficiente di correlazione R) che restituisce la percentuale della variabilità della variabile dipendente (Y) spiegata dalla concomitante variabilità della variabile indipendente (X). Nel caso in esame, analizzando tale coefficiente è possibile individuare una correlazione tra alcune delle variabili considerate: valori di R^2 maggiori di 0,90 indicano una correlazione alta, R^2 compresi tra 0,9 e 0,75 una correlazione buona, R^2 tra 0,75 e 0,50 una correlazione significativa e valori di R^2 inferiori a 0,50 una scarsa correlazione. È possibile valutare il grado di correlazione esistente tra due variabili anche studiando il valore assoluto di R: quando esso è minore di 0,7 la correlazione tra le due variabili è bassa, se è compreso tra 0,7 e 0,8 vi è media correlazione, mentre quando è tra 0,8 e 0,9 si ha una correlazione buona e per R maggiore di 0,9 è alta^[2]. Nella Tabella 4.22 sono riportate con i rispettivi valori di R e R^2 le coppie che, seguendo questo criterio, presentano una correlazione bassa, media, buona e alta, specificando il tipo di correlazione positiva o negativa. Bisogna ricordare, inoltre, che i valori di correlazione rimangono identici invertendo le variabili X e Y delle coppie in questione.

X	Y	R ²	R	% correlaz.	grado di correlazione	tipo correlazione
Portata	Magnesio	0,7003	0,8369	70,03%	corr. Buona	positiva
Portata	Solfati	0,6384	0,7990	63,84%	corr. Media	positiva
Torbidità	Alluminio	0,6075	0,7794	60,75%	corr. Media	positiva
Torbidità	Cromo	0,6997	0,8365	69,97%	corr. Buona	positiva
Torbidità	Coliformi Fecali	0,5007	0,7076	50,07%	corr. Media	positiva
Torbidità	Colonie in Agar 37°C	0,6175	0,7858	61,75%	corr. Media	positiva
pH	Alcalinità - P -	0,6678	0,8172	66,78%	corr. Buona	positiva
Conducibilità	Magnesio	0,5832	0,7637	58,32%	corr. Media	positiva
Temperatura	Ossigeno disciolto	0,6105	-0,7813	61,05%	corr. Media	negativa
Temperatura	Colonie in Agar 37°C	0,5109	-0,7148	51,09%	corr. Media	negativa
Alcalinità - M	Durezza totale	0,6526	0,8079	65,26%	corr. Buona	positiva
Alcalinità - M	Calcio	0,8463	0,9200	84,63%	corr. Alta	positiva
Durezza tot	Calcio	0,7853	0,8862	78,53%	corr. Buona	positiva
Magnesio	Cloruri	0,5448	0,7381	54,48%	corr. Media	positiva
Magnesio	Solfati	0,5978	0,7732	59,78%	corr. Media	positiva
Magnesio	Sodio	0,5258	0,7251	52,58%	corr. Media	positiva
Cloruri	Solfati	0,5734	0,7572	57,34%	corr. Media	positiva
Alluminio	Cromo	0,6330	0,7956	63,30%	corr. Media	positiva
Alluminio	Colonie in Agar 37°C	0,5327	0,7299	53,27%	corr. Media	positiva
Coliformi Fecali	Enterococchi	0,7773	0,8816	77,73%	corr. Buona	positiva
Coliformi Fecali	Escherichia coli (ufc/100ml)	0,7849	0,8543	78,49%	corr. Buona	positiva
Coliformi Fecali	Escherichia coli (MPN/100ml)	0,9257	0,9318	92,57%	corr. Alta	positiva
Colonie in Agar 37°C	Colonie in Agar 22°C	0,7883	0,8878	78,83%	corr. Buona	positiva
Portata	Cloruri	0,4549	0,6745	45,49%	corr. Bassa	Positiva
Portata	Sodio	0,4041	0,6357	40,41%	corr. Bassa	Positiva
Torbidità	Escherichia coli (MPN/100ml)	0,6039	0,6664	60,39%	corr. Bassa	Positiva
pH	Temperatura acqua	0,4262	-0,6528	42,62%	corr. Bassa	Negativa
pH	Ossigeno disciolto	0,4913	0,7009	49,13%	corr. Media	Positiva
Conducibilità	Cloruri	0,3748	0,6122	37,48%	corr. Bassa	Positiva
Temperatura	Calcio	0,3625	-0,6021	36,25%	corr. Bassa	negativa
Temperatura	Colonie in Agar 22°C	0,3821	-0,6245	38,21%	corr. Bassa	Negativa
Durezza tot	Coliformi Totali (ufc/100ml)	0,4795	-0,6924	47,95%	corr. Bassa	Negativa
Ossigeno disciolto	Calcio	0,4610	0,6790	46,10%	corr. Bassa	Positiva
Calcio	Nitrati	0,4056	0,6368	40,56%	corr. Bassa	Positiva
Calcio	Coliformi Totali (ufc/100ml)	0,4419	-0,6647	44,19%	corr. Bassa	Negativa
Ossidabilità	Cromo	0,4088	0,6394	40,88%	corr. Bassa	Positiva
Alluminio	Coliformi Fecali	0,4498	0,6706	44,98%	corr. Bassa	Positiva
Alluminio	Enterococchi	0,4840	0,6957	48,40%	corr. Bassa	Positiva
Cromo	Ferro	0,3627	0,6023	36,27%	corr. Bassa	Positiva
Cromo	Enterococchi	0,3681	0,6067	36,81%	corr. Bassa	Positiva
Coliformi Fecali	Colonie in Agar 37°C	0,4904	0,7003	49,04%	corr. Media	Positiva
Enterococchi	Escherichia coli (MPN/100ml)	0,8321	0,9121	83,21%	corr. Alta	Positiva
Colonie in Agar 37°C	Escherichia coli (MPN/100ml)	0,4096	0,6814	40,96%	corr. Bassa	Positiva

Tabella 4.22: Parametri legati da bassa, media, buona e alta correlazione secondo valori di R. Si evidenziano in celeste e rosa le relazioni di cui si riportano i rispettivi grafici nelle Figure 4.25 – 4.26

Di seguito sono riportati alcuni esempi di correlazione tra parametri, mostrando i diversi gradi di correlazione esistenti tra le coppie di variabili studiate.

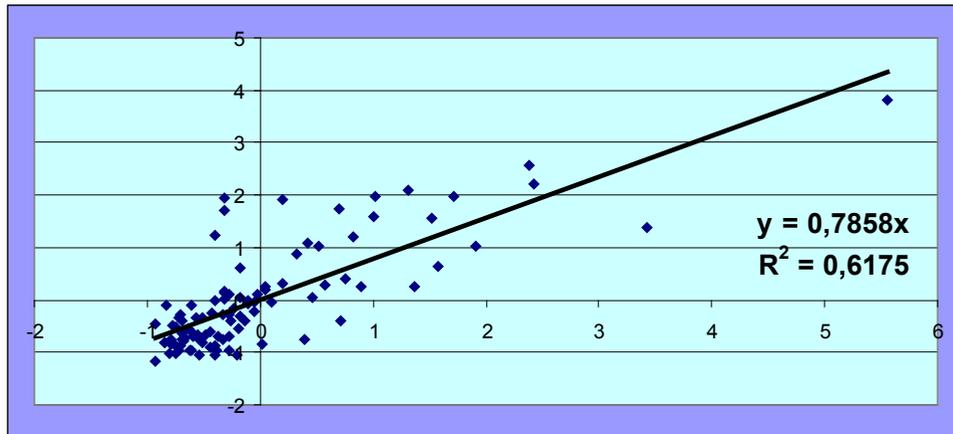


Figura 4.27: Esempio di correlazione media (Torbidità- Colonie in Agar a 37°C)

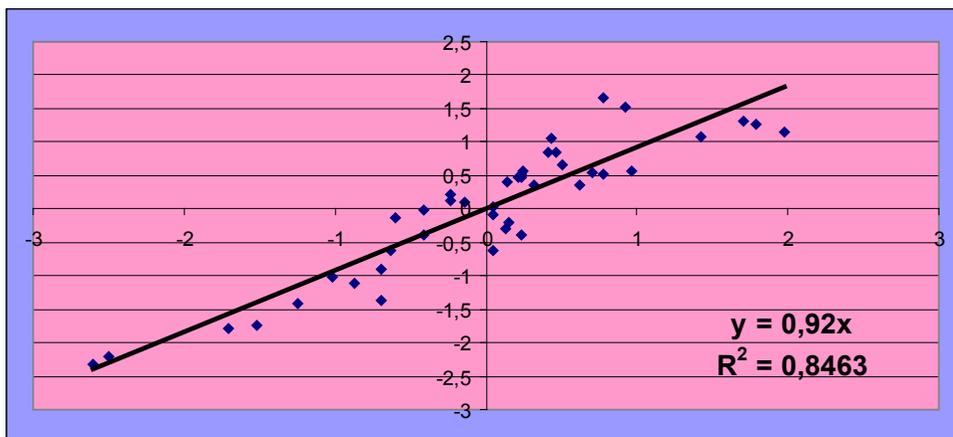


Figura 4.28: Esempio di alta correlazione (Alcalinità M-Calcio)

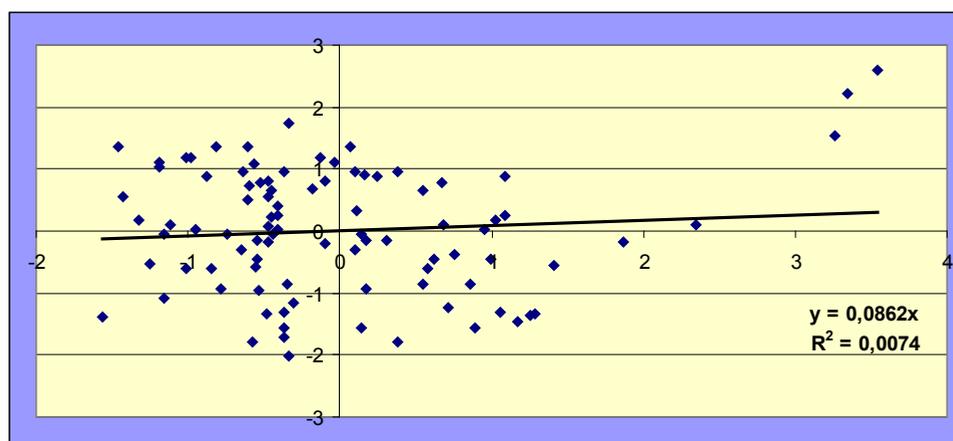


Figura 4.29: Esempio di assenza di correlazione (Cloruri- Ossigeno disciolto)

Come è possibile notare dagli scatter-plots finora illustrati, man mano che aumenta il grado di correlazione tra due variabili, la nuvola dei punti si concentra maggiormente attorno alla retta di regressione, mentre in caso di scarsa correlazione si osserva che i punti non si aggregano e rimangono distanti l'uno dall'altro. Oltre ad una visualizzazione di tipo grafico della correlazione tra due parametri, per una lettura semplificata di R, è possibile costruire la matrice delle correlazioni tra tutte le variabili prese a due a due. La matrice di correlazione contiene i valori di R per tutte le coppie di parametri analizzate: si tratta di una matrice quadrata simmetrica, ottenuta moltiplicando la matrice dei dati standardizzata per la sua trasposta. Ogni elemento della suddetta matrice esprime la somma dei quadrati e dei prodotti incrociati dei valori delle variabili, inoltre gli elementi diagonali hanno valore unitario, in quanto esprimono la perfetta correlazione di un parametro con se stesso.

Grazie all'analisi bivariata si spiegano molti dei valori risultati finora "anomali", giustificando la loro presenza tramite la correlazione tra le diverse variabili.

Per esempio, si può notare nella Figura 4.30 la stretta correlazione negativa tra la temperatura e la solubilità dell'ossigeno; infatti, a basse temperature dell'acqua corrispondono incrementi della solubilità dell'ossigeno, al contrario con l'avvicinarsi dei mesi più caldi l'aumento della temperatura comporta una riduzione dei valori di ossigeno disciolto presente nell'acqua addotta all'impianto.

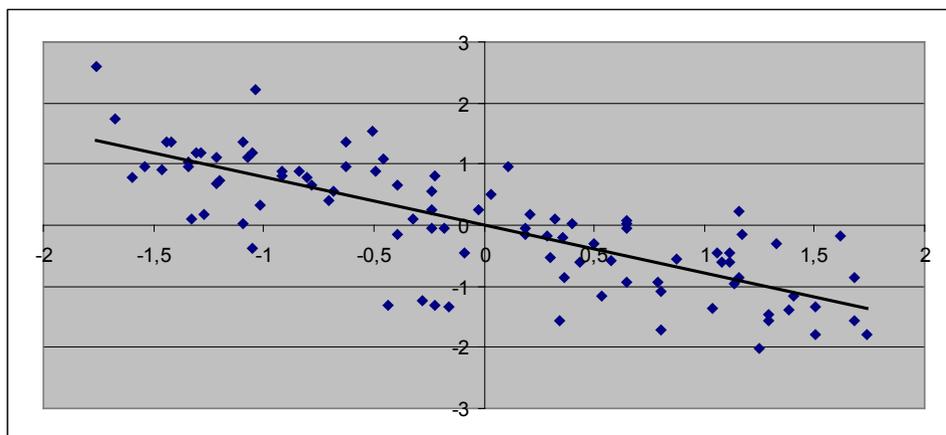


Figura 4.30: Correlazione dell'Analisi Bivariata tra Temperatura e Ossigeno disciolto

L'analisi statistica condotta fin qui ha messo in evidenza anche una certa correlazione positiva tra l'alcalinità M e la durezza dell'acqua (Figura 4.31), ciò si spiega sapendo che l'alcalinità è determinata dalla presenza di idrati metallici e bicarbonati di calcio e magnesio, e che la durezza è legata al contenuto di sali di calcio e magnesio in essa disciolti. A dimostrazione di quanto appena detto, si riportano di seguito i grafici della correlazione dell'alcalinità M con con il calcio (Figura 4.32), e quello della correlazione tra durezza e calcio (Figura 4.33).

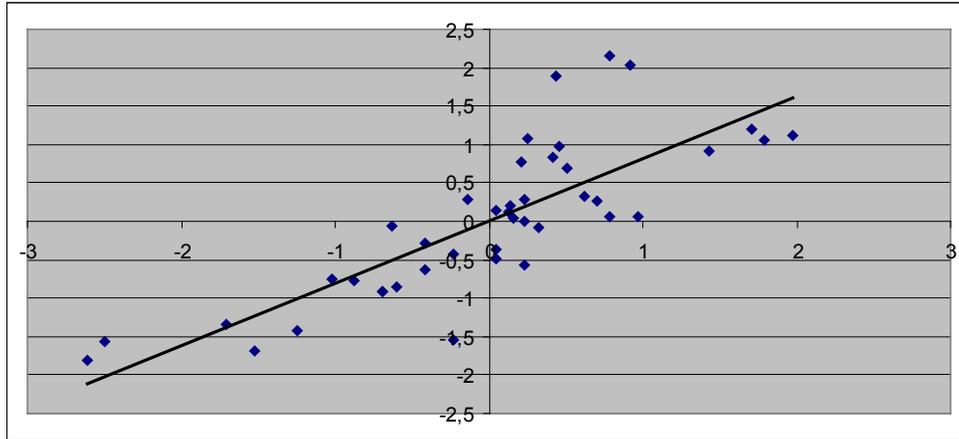


Figura 4.31: Correlazione dell'Analisi Bivariata tra Alcalinità M e Durezza totale

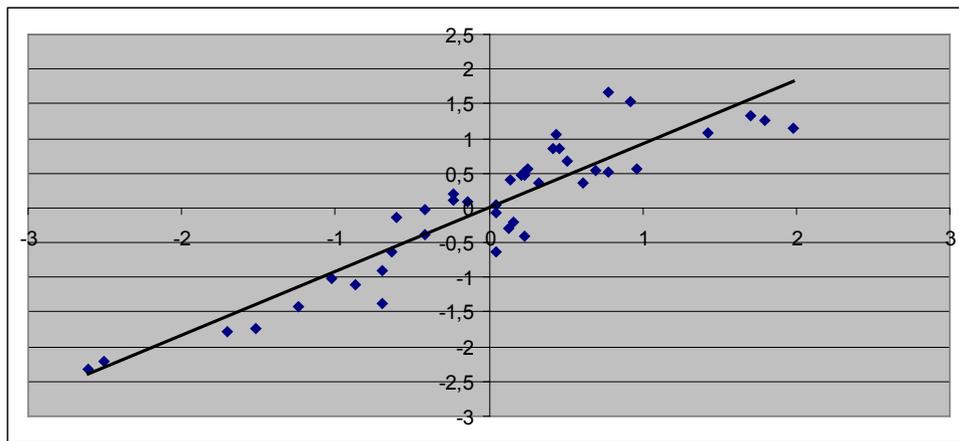


Figura 4.32: Correlazione dell'Analisi Bivariata tra Alcalinità M e Calcio

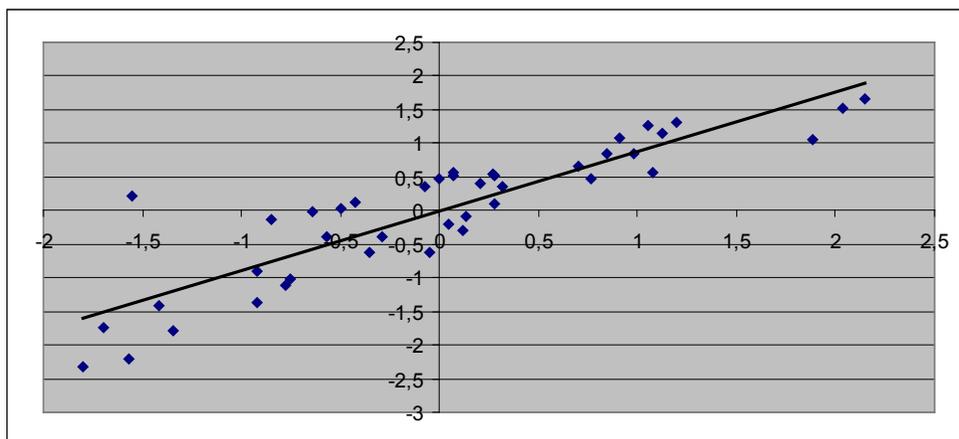


Figura 4.33: Correlazione dell'Analisi Bivariata tra Durezza e Calcio

Per quanto riguarda i metalli pesanti, vi è una buona correlazione dell'alluminio con la torbidità, evidentemente legata all'alluminio presente nei terreni argillosi. Tra dicembre 2002 e gennaio 2003 (Tabella 4.1 e 4.3) sono state rilevate concentrazioni di alluminio cinque volte superiori alla media. In quest'arco di tempo è stato registrato un livello molto basso di acqua nell'invaso, dovuto ad un periodo di grande siccità. Pertanto, in seguito ad un repentino aumento del livello dell'invaso, si è prelevata acqua torbida dal fondo e ciò spiega la presenza nelle analisi di alti valori di metalli pesanti. Nel periodo temporale preso in considerazione sono presenti anche alte concentrazioni di *romo*, *manganese* e *rame*. Tali considerazioni sono confermate dalla lettura dei grafici riportati nelle Figure 4.34 e 4.35.

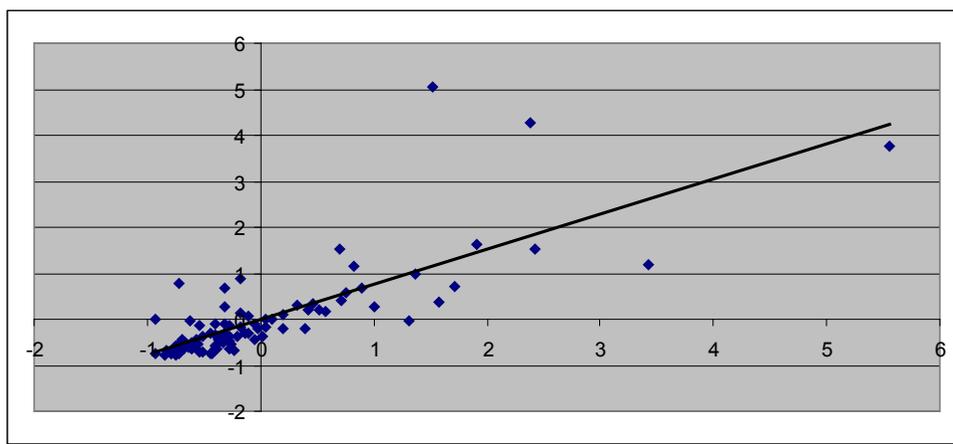


Figura 4.34: Correlazione dell'Analisi Bivariata tra Torbidità e Alluminio

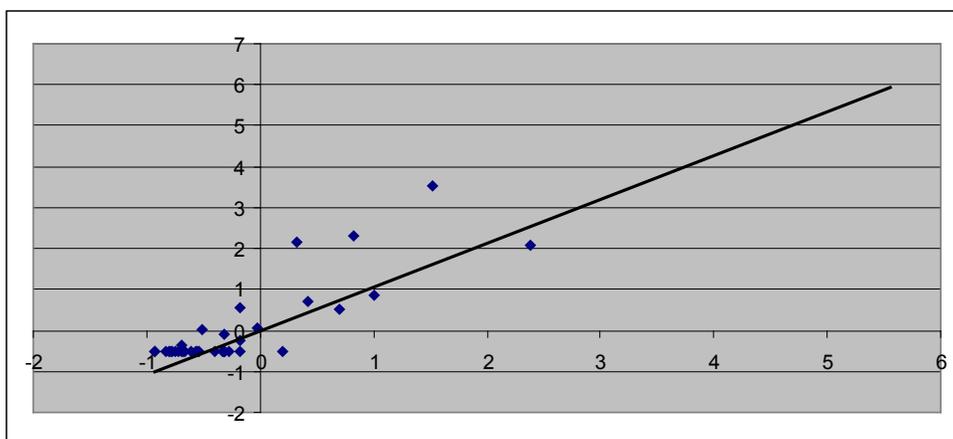


Figura 4.35: Correlazione dell'Analisi Bivariata tra Torbidità e Cromo

La torbidità, come già spiegato nel paragrafo 4.1.1.1, è un indice importante che attesta lo sviluppo delle colonie batteriche. Difatti, la torbidità è ben correlata con tutti i tipi di microrganismi presi in

considerazione nelle analisi batteriologiche dell'acqua del Camastra e, in particolar modo, come mostrano gli *scatter-plots* che seguono (Figure 4.36 e 4.37), con i coliformi fecali e le colonie in agar a 37°C.

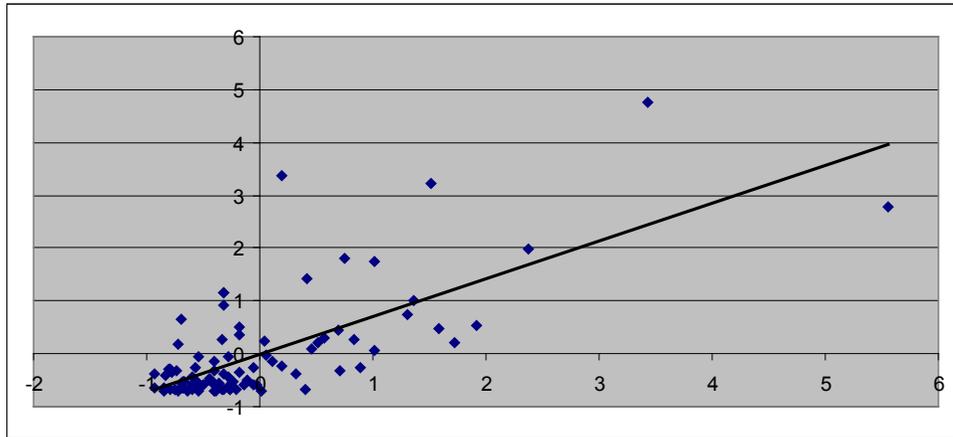


Figura 4.36: Correlazione dell'Analisi Bivariata tra Torbidità e Coliformi Fecali

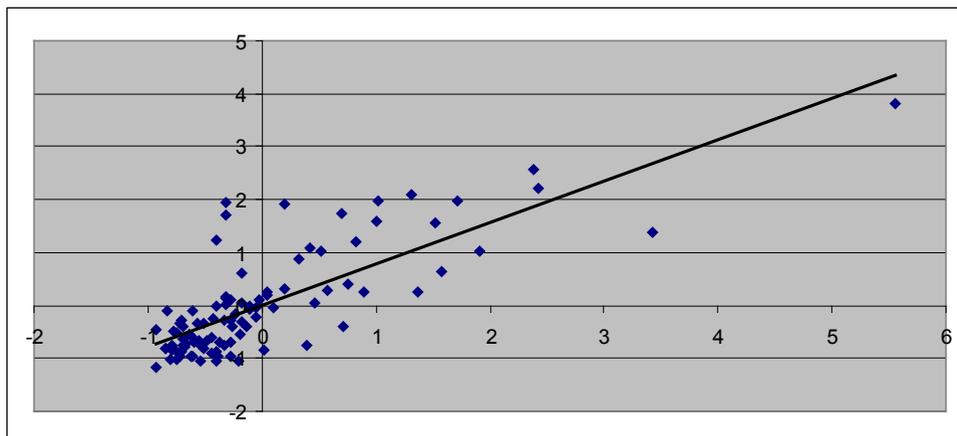


Figura 4.37: Correlazione dell'Analisi Bivariata tra Torbidità e Colonie in Agar a 37°C

Infine, è stata riscontrata una stretta correlazione tra la conducibilità elettrica dell'acqua e la concentrazione di magnesio (Figura 4.38). Questo fenomeno è stato già esposto nel Paragrafo 4.1.1.1, in cui si è spiegato che la capacità dell'acqua di condurre corrente dipende dalla concentrazione di ioni in essa presenti. Sapendo che buona parte dei sali disciolti in acqua sono carbonati di calcio e magnesio, si spiega la significativa correlazione tra conducibilità e magnesio.

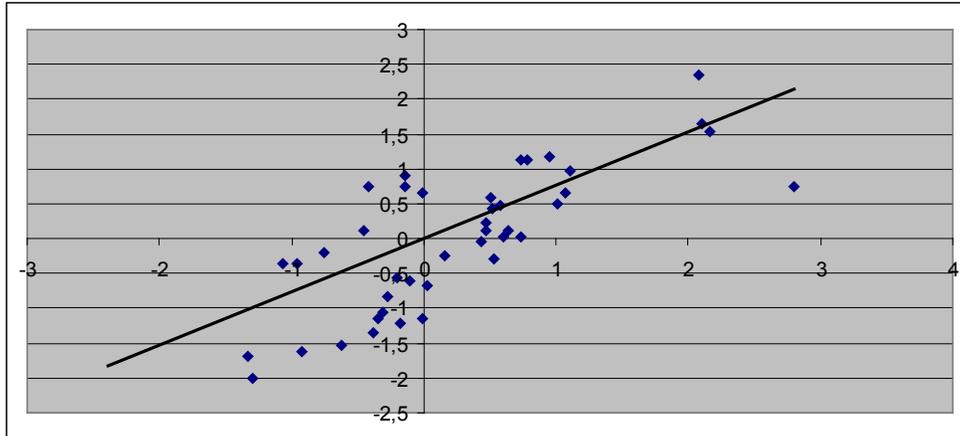


Figura 4.38: Correlazione dell'Analisi Bivariata tra Conducibilità e Magnesio

È possibile trovare conferma di quanto appena detto, anche guardando i dati di partenza (Tabella 4.1), in cui i valori della conducibilità, della durezza, del calcio e del magnesio nell'anno 2002 sono più alti rispetto agli altri anni, soprattutto nel primo trimestre (vedi Figura 4.39 - 4.42).

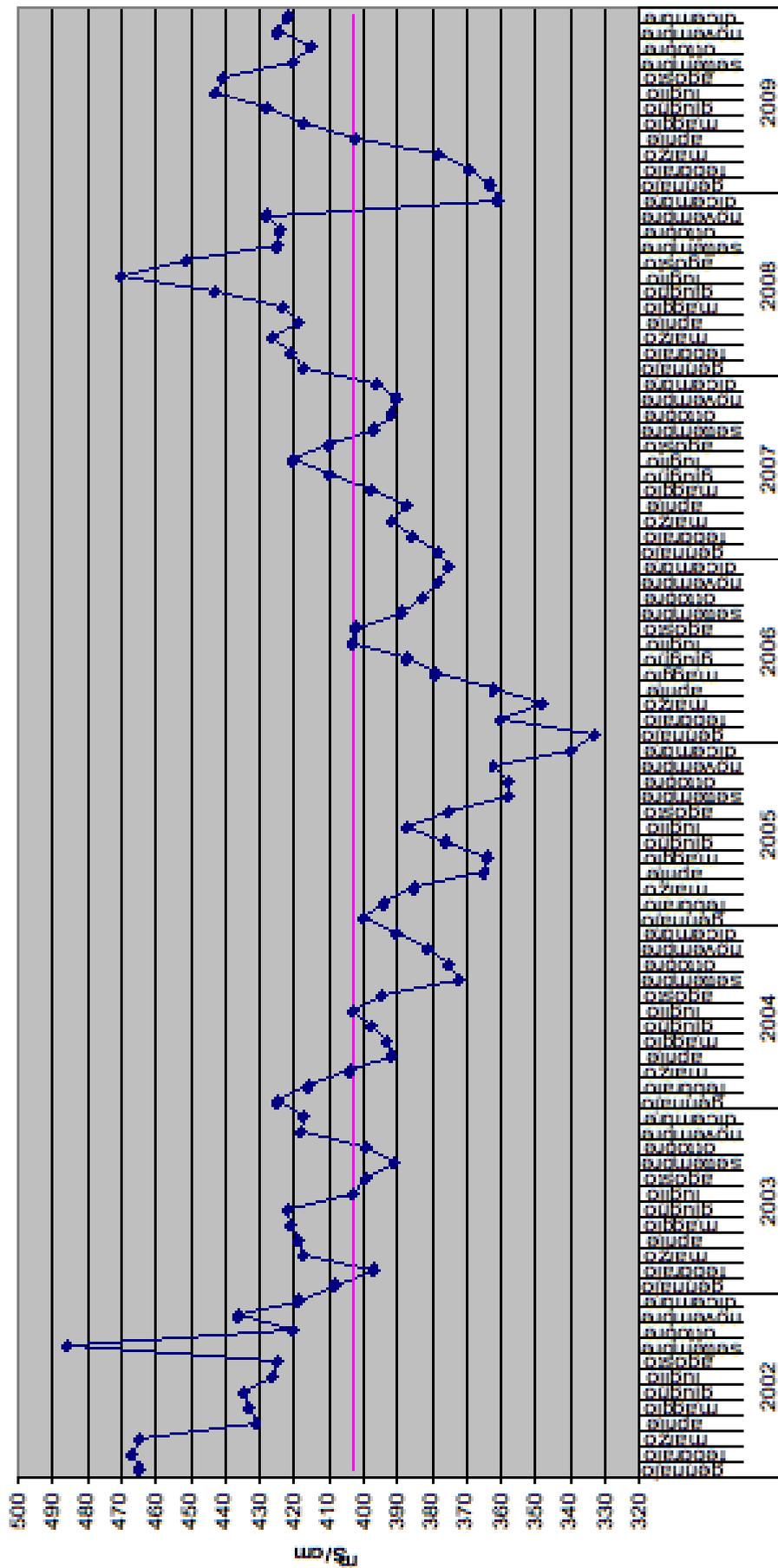


Figura 4.39: Andamento della Conducibilità (2002-2009)

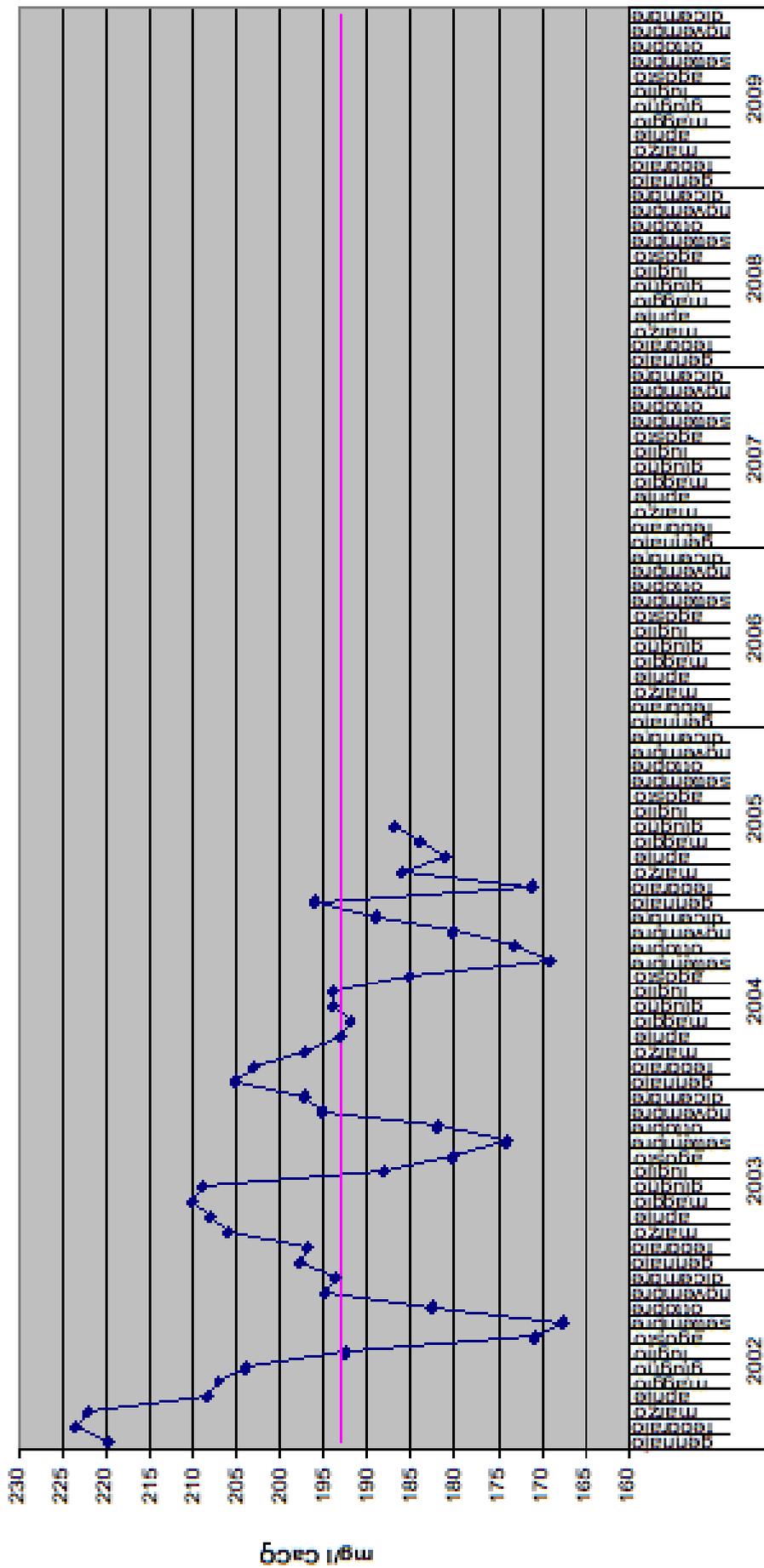


Figura 4.40: Andamento della Durezza (2002-2009)

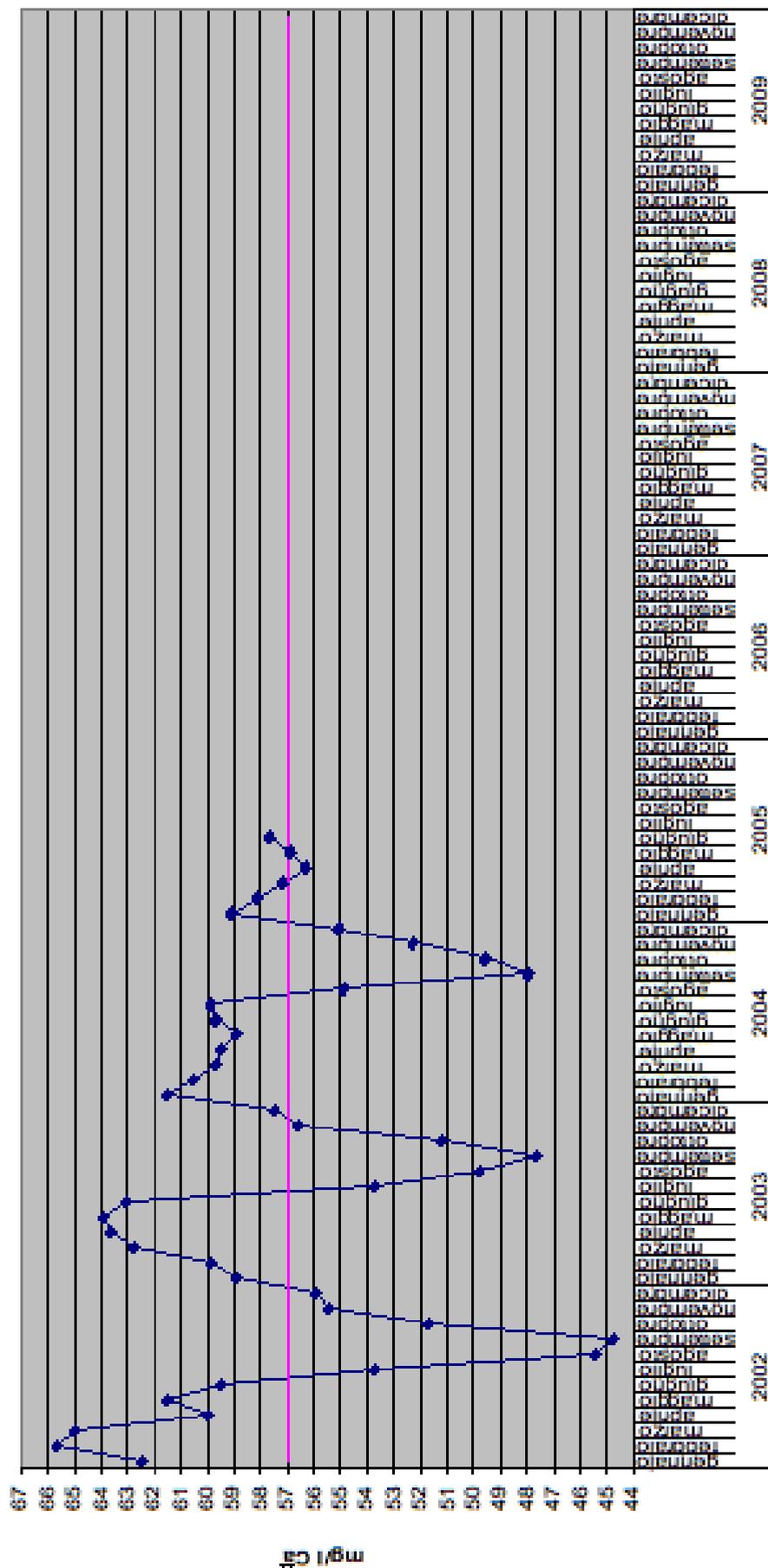


Figura 4.41: Andamento del Calcio (2002-2009)

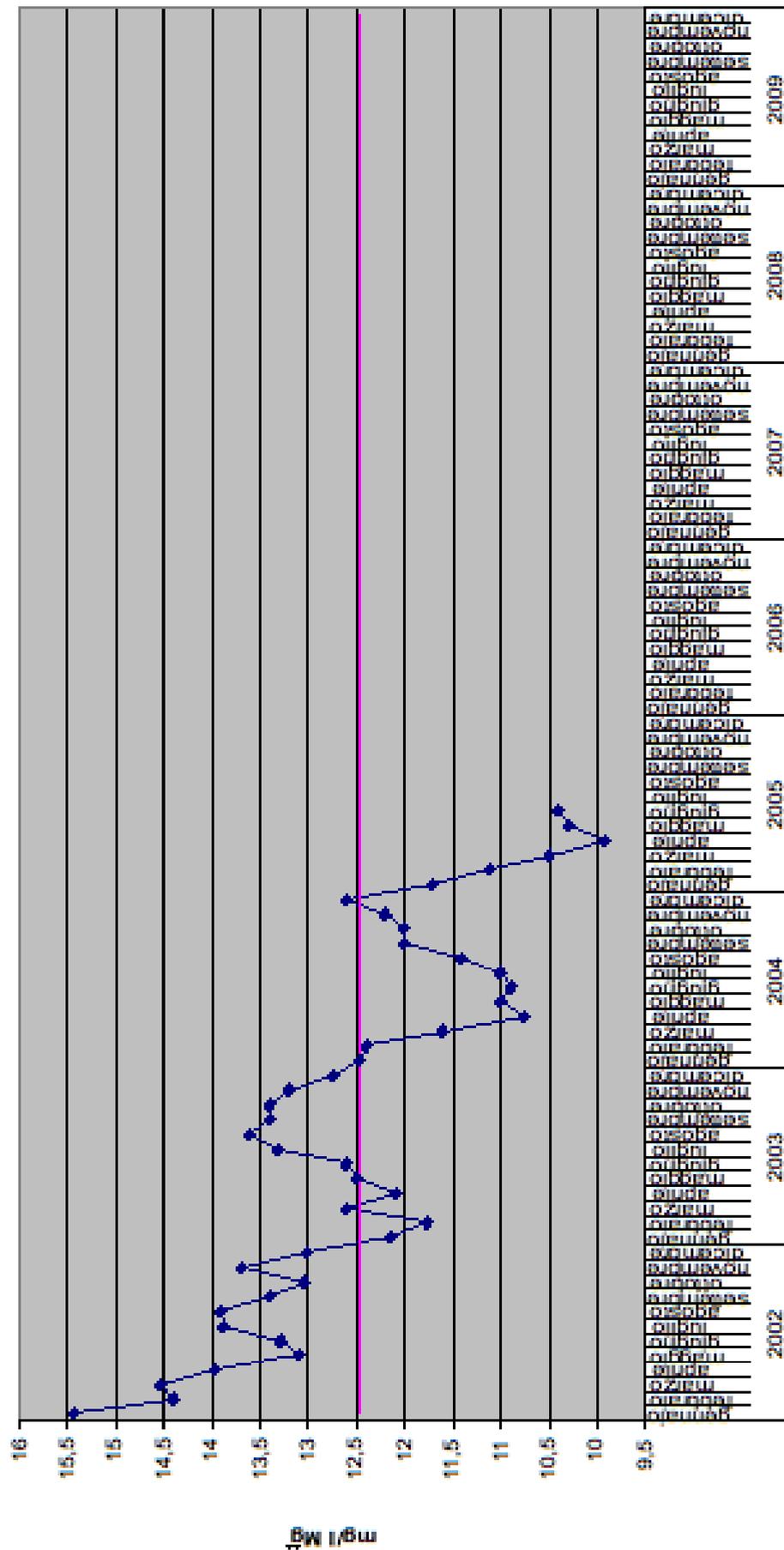


Figura 4.42: Andamento del Magnesio (2002-2009)

Nello stesso anno si può notare che anche i cloruri presentano valori molto più alti rispetto alla media (Figura 4.43), ciò è spiegato dalla capacità del cloruro di aumentare la conducibilità elettrica delle acque ed è confermato da una correlazione, seppur minima, tra conducibilità e cloruri (Figura 4.44).

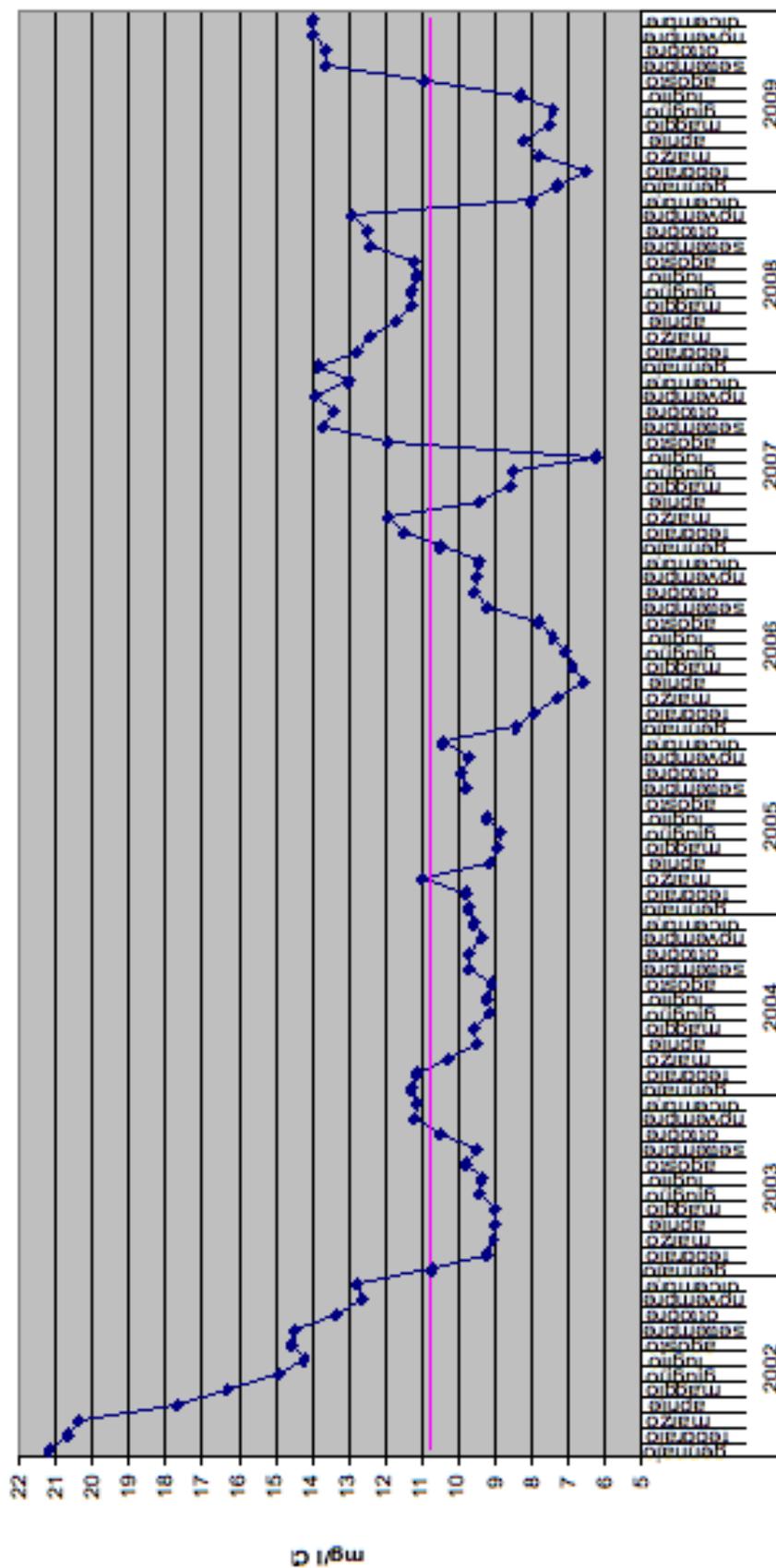


Figura 4.43: Andamento dei Cloruri (2002-2009)

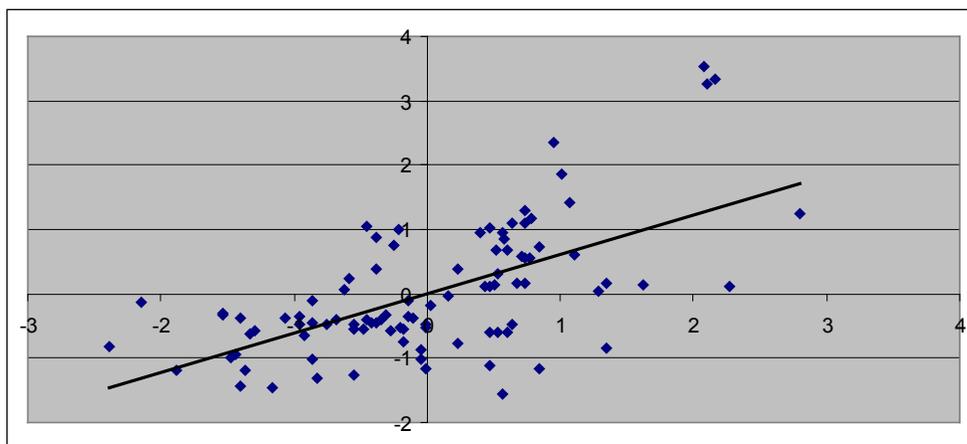


Figura 4.44: Correlazione dell'Analisi Bivariata tra Conducibilità e Cloruri

4.3 Discussione risultati Analisi Statistica Multivariata

Per mettere in maggiore evidenza gli andamenti stagionali di alcuni parametri e per meglio procedere ad un'analisi statistica multivariata, i dati di partenza sono stati organizzati per mese (vedi paragrafo 4.2 e Figura 4.10 - 4.13). È stata costruita, pertanto, una matrice di dati per ogni mese dell'anno, avente per colonne i parametri chimico-fisici e batteriologici e per righe gli anni da considerare nel calcolo statistico. Come già evidenziato nel paragrafo 4.1, nei dati di partenza sono presenti alcune lacune per diversi parametri, soprattutto a partire da metà dell'anno 2005. Al fine di una più accurata analisi multivariata, pertanto, si sono realizzati tre tipi di matrici di dati.

Si sono ottenute 12 matrici contenenti i 28 parametri per i quali si dispone di dati per tutti gli otto anni di campionamento, escludendo dai parametri di partenza quelli determinati solo fino alla prima metà del 2005, come alcalinità P, alcalinità M, durezza, calcio, magnesio, sodio, potassio e cromo, e trascurando anche i coliformi totali ed escherichia-coli, che hanno differenti unità di misura negli otto anni di analisi. Per reintegrare nell'analisi multivariata anche quei parametri le cui misurazioni non sono state più rilevate a partire da luglio 2005, si sono costruite 5 matrici in cui sono stati riportati per mese i 33 parametri misurati almeno fino a maggio 2005. Infine, per la totalità dei parametri analizzati, sono disponibili tutte le misurazioni dal 2002 al 2004. In tal modo è stato possibile creare 12 matrici, una per ogni mese dell'anno, contenenti tutti i parametri.

Una volta definite le 29 matrici dei dati con cui procedere all'analisi multivariata, occorre porre rimedio alla mancanza di dati per alcuni parametri, continuando l'operazione di *data cleaning* (o pulitura dei dati) già descritta nel paragrafo 4.1.

Nelle procedure di analisi multivariata, quando si considerano simultaneamente più variabili, la presenza di dati mancanti anche in una sola variabile comporta l'esclusione integrale dei casi che li presentano.

^[10] Per questo motivo, nella letteratura metodologica e statistica sono state proposte diverse strategie per affrontare il problema, tentando di sostituire i valori mancanti con altri valori. La scelta abituale consiste nell'eliminazione integrale della variabile, cioè nella cancellazione della colonna della matrice dei dati corrispondente a quel soggetto. In alternativa, si tenta di sostituire i dati mancanti cercando

di salvaguardare l'assetto globale del campione e non lo stato di quel caso che li presenta. Eliminare l'intera variabile per pochi dati mancanti è spesso inopportuno, in quanto ciò comporta la perdita di tutte le informazioni fornite e, in generale, l'eliminazione di troppi casi. È possibile sostituire il dato mancante con un valore centrale della distribuzione di quella variabile, ad esempio facendo ricorso alla media calcolata solo sui casi di cui si possiedono i dati. L'unico limite di questa soluzione è che, benchè minimizzi l'errore prevedibile sul singolo soggetto, dovuto allo scarto tra il suo stato effettivo e quello centrale con cui è sostituito, preservando così la media della distribuzione, essa produce una diminuzione della varianza. In definitiva, i possibili approcci quando si hanno dati con valori mancanti sono: ignorare le istanze con valori mancanti o riempire i valori mancanti manualmente, usando un valore costante come "Unknown" oppure 0 (a seconda del tipo di dati) oppure inserendo la media al posto dei valori mancanti. Nel presente caso di studio, si è scelto di adottare quest'ultima soluzione, sostituendo i valori mancanti con il valore medio della distribuzione mensile del parametro, a modi esempio si riportano solo alcune delle tabelle ottenute con quest'operazione (Tabella 4.23 – 4.34) in cui sono evidenziati i valori sostituiti.

Colmati i vuoti numerici nelle tabelle dei mesi, si è proceduto con una nuova standardizzazione dei dati in esse contenuti e si è verificato che per ogni parametro considerato la distribuzione avesse media pari a 0 e varianza uguale a 1. Nelle operazioni di standardizzazione relative ai dati dal 2002 al 2004, sono stati evidenziati alcuni parametri (Alcalinità P, Cromo, Rame e Lieviti) per i quali in certi mesi non è stato possibile effettuare le suddette operazioni, in quanto i valori da standardizzare erano tutti nulli. Pertanto, nell'analisi delle componenti principali dal 2002 al 2004 i parametri in questione verranno trascurati del tutto.

Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]	12	23	5	57	33	16	7	12	20,63	17,25
Lieviti [ufc/100ml]	300	300	287,5	300	286,6	300	250	300	290,51	17,39
Funghi [ufc/100ml]	8,8	16,5	21	25	10,6	28	18,75	10	17,33	7,18
Attinomiceti [ufc/100ml]	37	59	27	130	53,3	29	72	115	65,29	38,67
Alghe [N/ml]	381,5	613,86	1037,7	679,46	623,9	1148	2244	956	960,55	577,70
Aeromonas spp [ufc/100ml]	271	473,64	362,82	435	371	427	460	936	467,06	200,42
Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	149,4	230,76	201,81	174,6	157,65	70	161	116	157,65	49,39
Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	86,33	129,1	109,33	110,17	56	41	87	92	88,87	28,99
Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	15,8	18	21,63	18,4	25	18	6	29	18,98	6,81
Enterococchi [ufc/100ml]	29,08	62,96	51,6	71,9	34	11	26	99	48,19	28,82
Coliformi Fecali [ufc/100ml]	29,08	79,64	48,6	73,1	51	14	17	162	59,30	47,94
Carbonio Org. Tot [mg/l C]	3,81	4,88	3,42	3,09	5,28	2,45	3,9	3,66	3,81	0,91
Rame [µg/l Cu]	1,5	14,2	0	2,7	1,7	0	0	1,5	2,7	4,75
Bario [µg/l Ba]	95	24,5	45	47,57	47	50	47	24,5	47,57	21,80
Manganese [µg/l Mn ⁺⁺]	59,7	12,7	24	29,17	18,2	26,5	34,6	28,5	29,17	14,08
Ferro [µg/l Fe ⁺⁺]	408	385	123	676,5	2801	149	193	676,5	676,5	885,51
Fluoruri [mg/l F ⁻]	0,18	0,14	0,2	0,23	0,18	0,16	0,19	0,15	0,18	0,03
Alluminio [mg/l Al ⁺⁺⁺]	1,87	4,37	0,85	1,773	1,734	0,846	0,841	1,9	1,77	1,16
Solfati [mg/l SO ₄ ^{- -}]	41,867	30,24	54,43	45,6	32	40,6	55	35,2	41,87	9,43
Ossidabilità [mg/l O ₂ cons]	2,08	3,3	2,22	3,18	2,69	2,55	3,91	3,14	2,88	0,61
Nitrati [mg/l NO ₃ ⁻]	2,02	1,23	3,83	2,98	1,3	0,88	2	1,9	2,02	0,98
Cloruri [mg/l Cl ⁻]	21,19	10,69	11,27	9,7	8,4	10,5	13,8	7,3	11,61	4,33
Ossigeno disciolto [mg/l O ₂]	11,3	9,4	9,15	9,2	9,7	9	8,2	9,3	9,41	0,88
Temperatura acqua [°C]	5,87	8,68	7,4	8	7,6	10,2	8,4	8	8,02	1,23
Conducibilità 20° [µS/cm]	464,4	408	425	400	333	378	417	363	398,55	40,44
pH	8	8,29	8,3	8,27	8,27	8,22	8,13	8,21	8,21	0,10
Torbidità [FTU]	20,2	34,6	9,6	22	25,2	12	8,8	44,4	22,10	12,55
Portata [l/s]	708	311	508	438	245	542	608	371	466,38	155,35
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
media										
devst										

Tabella 4.23: Dati 28 parametri per il mese di Gennaio dal 2002 al 2009

Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]	18	192	6	55	7	12	10	13	39,13	63,77
Lieviti [ufc/100ml]	300	300	260	300	230	300	230	220	267,50	36,55
Funghi [ufc/100ml]	23,6	27,3	15	17,5	17,5	34	22,5	45	25,30	10,04
Attinomyceti [ufc/100ml]	67,6	116	25,5	137,5	83,5	40	68	77	76,89	36,67
Alghe [N/ml]	682,9	417,17	1438,7	1051,7	900,4	1287	776	644	899,73	343,13
Aeromonas spp [ufc/100ml]	87,67	482,7	298,73	392,7	365	462	420	542	381,35	140,18
Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	11,64	211,17	233,96	193,3	127,87	117	53	75	127,87	79,73
Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	52,14	97,7	101,48	114,5	57	58	39	61	72,60	27,67
Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	21,67	18,2	14,13	16,3	31	10	6	22	17,41	7,76
Enterococchi [ufc/100ml]	1,5	38,2	14,44	35,1	25	14	9	49	23,28	16,34
Coliformi Fecali [ufc/100ml]	2,1	23,2	10,02	43,5	30	15	5	75	25,48	24,25
Carbonio Org.Tot [mg/l C]	4	5,43	4,39	5,81	2,76	2,49	4	3,11	4,00	1,20
Rame [µg/l Cu]	2,36	1,6	0	2,4	2	0	1,2	3,9	1,68	1,30
Bario [µg/l Ba]	51	14,2	26	38,8	50	97	70	35	47,75	26,12
Manganese [µg/l Mn ⁺⁺]	34	12,99	21,5	32,1	24	40,5	28	27,4	27,56	8,38
Ferro [µg/l Fe ⁺⁺]	198	590	354	1090,5	303	397	51,5	426,29	426,29	312,10
Fluoruri [mg/l F ⁻]	0,18	0,18	0,21	0,21	0,19	0,18	0,2	0,18	0,19	0,01
Alluminio [mg/l Al ⁺⁺⁺]	0,635	1,16	1,47	0,8975	1,07	1,023	0,513	1,391	1,02	0,33
Solfati [mg/l SO ₄ ⁻²]	54,83	32,48	44,2	44,7	36,5	41,3	58,2	31,3	42,94	9,77
Ossidabilità [mg/l O ₂ cons]	2,05	2,9	2,27	3	2,56	2,62	1,84	2,47	2,46	0,40
Nitrati [mg/l NO ₃ ⁻]	4,43	1,82	3,21	3,1	1,4	1,1	1,7	1,1	2,23	1,21
Cloruri [mg/l Cl ⁻]	20,63	9,24	11,1	9,8	7,9	11,5	12,8	6,5	11,18	4,32
Ossigeno disciolto [mg/l O ₂]	10,8	8,96	9,2	10,2	9,5	9,1	8,1	9,7	9,45	0,82
Temperatura acqua [°C]	9,6	6,7	7	6,3	8,2	10,2	8,1	7,5	7,95	1,38
Conducibilità 20° [µS/cm]	466,7	397,2	416	394	360	386	421	369	401,24	33,67
pH	8,16	8,32	8,3	8,26	8,29	8,26	8,19	8,31	8,26	0,06
Torbidità [FTU]	9,6	21,9	9,6	24,7	17,8	14,3	6	19,5	15,43	6,63
Portata [l/s]	607	261,7	392	434	262	564	578	197	411,96	160,75
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
media										
devst										

Tabella 4.24: Dati 28 parametri per il mese di Febbraio dal 2002 al 2009

Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]	12	22	45	194	25	4	10	23	41,88	62,71
Lieviti [ufc/100ml]	300	260	265	300	290	300	237,5	250	275,31	25,23
Funghi [ufc/100ml]	9,2	18	20,5	19,5	12	44	16,75	9	18,62	11,20
Attinomiceti [ufc/100ml]	28	144	48,5	124	40,5	28	44	120	72,13	48,39
Alghe [N/ml]	521,6	1287,8	791,8	1006,6	1170,3	1108,6	962	4320	139609	120503
Aeromonas spp [ufc/100ml]	113,6	386,9	337,46	305,7	401	446	413	587	37383	134,58
Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	91,6	59,44	116,93	107,6	91,08	137	48	77	91,08	29,53
Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	51,2	47,25	67,19	76,1	110	80	29	56	64,59	24,67
Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	19,1	15,1	25,1	19,2	30	15	9	16	18,56	6,51
Enterococchi [ufc/100ml]	2,6	9,46	11,46	10,1	25	20	9	19	13,33	7,33
Coliformi Fecali [ufc/100ml]	4,3	5,25	11,52	10	28	28	7	14	13,51	9,50
Carbonio Org.Tot [mg/l C]	3,77	6,5	4,01	4,3	3,55	2,46	2,18	3,39	3,77	1,32
Rame [µg/l Cu]	1,95	0	0	2,14	34,2	0	6,38	6,38	6,38	11,55
Bario [µg/l Ba]	69,7	30	104	42,6	48	61	23	34	51,54	26,32
Manganese [µg/l Mn ⁺⁺]	18,56	9,6	44	16,2	39	24	23	23	24,67	11,47
Ferro [µg/l Fe ⁺⁺]	291,4	197	428	515	648	260	85	346,34	346,34	180,15
Fluoruri [mg/l F]	0,19	0,19	0,21	0,22	0,18	0,21	0,2	0,19	0,20	0,01
Alluminio [mg/l Al ⁺⁺⁺]	0,76	0,66	1,64	1,167	1,51	1,1	0,682	1,483	1,13	0,39
Solfati [mg/l SO ₄ ^{- -}]	59,28	35,5	39,3	41,2	32,5	44,7	59,5	33,4	43,17	10,79
Ossidabilità [mg/l O ₂ cons]	1,94	2,67	2,33	2,63	3,01	2,64	1,77	2,37	2,42	0,41
Nitrati [mg/l NO ₃ ⁻]	4,94	1,6	2,8	3,2	1,4	1,26	1,67	0,9	2,22	1,35
Cloruri [mg/l Cl ⁻]	20,39	9,04	10,26	10,98	7,3	11,9	12,4	7,8	11,26	4,12
Ossigeno disciolto [mg/l O ₂]	9,93	8,9	8,85	9,7	9,4	9,2	8,8	9,5	9,29	0,42
Temperatura acqua [°C]	12,34	8,73	8,68	9,3	9,4	11,7	10,9	8,3	9,92	1,52
Conducibilità 20° [µS/cm]	465	417	404	385	348	392	426	378	401,88	35,16
pH	8,27	8,35	8,34	8,26	8,3	8,27	8,22	8,31	8,29	0,04
Torbidità [FTU]	12,27	8,8	10,9	15,5	28,5	17,3	8,4	20,8	15,31	6,83
Portata [l/s]	616	264	212	324	210	514	515	194	356,13	167,17
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
media										
devst										

Tabella 4.25: Dati 28 parametri per il mese di Marzo dal 2002 al 2009

Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]	29	7	5	22	4	10	2	21	12,50	10,07
Lieviti [ufc/100ml]	262,5	300	278,3	275	300	300	250	250	276,98	21,58
Funghi [ufc/100ml]	9,25	12	14,67	22	9,5	17	19,3	15	14,84	4,53
Attinomiceti [ufc/100ml]	23	71,5	29,3	57	42	44	33	68	45,98	17,94
Alghe [N/ml]	710,2	4857,7	1927,5	861,2	8344	522	1273	4397	2861,58	2774,85
Aeromonas spp [ufc/100ml]	392,2	412,64	370,45	401,4	402	443	431	644	437,09	86,56
Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	180,6	40,55	57,64	55,36	60	66	54	57	71,39	44,71
Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	102,5	23,23	31,28	40,08	47	43	46	49	47,76	23,77
Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	8,8	11,29	13,29	11,63	12	6	4	12	9,88	3,31
Enterococchi [ufc/100ml]	24	0,45	2,6	2,64	2	5	7	19	7,84	8,76
Coliformi Fecali [ufc/100ml]	34,4	2,68	12,1	5,2	4	6	7	24	11,92	11,36
Carbonio Org.Tot [mg/l C]	3,34	4,31	3,88	3,35	3,63	2,55	2,56	3,13	3,34	0,61
Rame [µg/l Cu]	0	0	0	0,18	1,1	0	0	0,18	0,18	0,38
Bario [µg/l Ba]	36	35	26	42	50	46	48	53	42,00	9,09
Manganese [µg/l Mn ⁺⁺]	56,88	11,95	14	5	28	15,9	21,3	21,9	21,87	15,79
Ferro [µg/l Fe ⁺⁺]	420,3	97	224	168	1736	174	267	440,9	440,90	537,05
Fluoruri [mg/l F ⁻]	0,2	0,2	0,19	0,18	0,2	0,2	0,2	0,19	0,20	0,01
Alluminio [mg/l Al ⁺⁺⁺]	2,16	0,42	0,47	0,341	0,589	0,387	0,975	1,218	0,82	0,62
Solfati [mg/l SO ₄ ^{- -}]	51,77	33,6	31,9	32,6	31,2	38,9	53,8	33,5	38,41	9,19
Ossidabilità [mg/l O ₂ cons]	2,65	2,36	2,03	2,32	2,61	2,96	2,23	2,36	2,44	0,29
Nitrati [mg/l NO ₃ ⁻]	4,01	1	2,91	2,02	1,1	1	1,41	0,9	1,79	1,13
Cloruri [mg/l Cl ⁻]	17,7	9	9,48	9,13	6,6	9,4	11,7	8,2	10,15	3,36
Ossigeno disciolto [mg/l O ₂]	8,12	9,7	8,8	9,36	8,7	9	7,8	9,1	8,82	0,62
Temperatura acqua [°C]	13,26	11,7	12,9	12,6	13,7	13,8	12,9	12,4	12,91	0,69
Conducibilità 20° [µS/cm]	431,2	419	392	365	362	387	419	402	397,15	25,46
pH	8,27	8,42	8,35	8,26	8,29	8,21	8,24	8,27	8,29	0,07
Torbidità [FTU]	19,03	6,2	5,61	8,6	12	10,3	11,5	16,8	11,26	4,74
Portata [l/s]	579	237	180	208	198	384	381	194	295,13	141,29
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
media										
devst										

Tabella 4.26: Dati 28 parametri per il mese di Aprile dal 2002 al 2009

Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]	29	7	5	22	4	10	2	21	12,50	10,07
Lieviti [ufc/100ml]	300	300	285	182,5	300	300	200	250	264,69	48,63
Funghi [ufc/100ml]	26,3	5	11,6	8	24	17	14	5	13,86	8,14
Attinomiceti [ufc/100ml]	35,8	33	40	75,5	50	28	44,6	75	47,74	18,28
Alghe [N/ml]	736,4	18525	2512	35173	27827	17152	1236	1456	197601	90645
Aeromonas spp [ufc/100ml]	500	46615	4828	44778	413	441	429	819	49984	13203
Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	49,7	73,82	53,02	37,88	98	37	24	62	54,43	23,48
Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	24,3	45,12	23,7	21,82	45	31	22	54	33,37	12,78
Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	4,3	10,89	19	12,13	31	16	15,33	14	15,33	7,68
Enterococchi [ufc/100ml]	1,69	0,62	3,78	0,56	2	1	1	14	3,08	4,53
Coliformi Fecali [ufc/100ml]	5,6	9,44	20,3	2,8	4	1	1	21	8,14	8,19
Carbonio Org.Tot [mg/l C]	6,6	3,82	2,37	3,35	3,95	3,09	2,24	3,78	3,65	1,36
Rame [µg/l Cu]	0,96	0	0	0,66	1	0	2	0,66	0,66	0,69
Bario [µg/l Ba]	51,6	26	34	40,43	44	43	44	40,43	40,43	7,62
Manganese [µg/l Mn ⁺⁺]	15,6	8,5	2	12,8	17,6	12,5	13,7	19,7	12,80	5,54
Ferro [µg/l Fe ⁺⁺]	108,6	118,5	119	224,35	762	178	60	224,35	224,35	224,86
Fluoruri [mg/l F]	0,21	0,21	0,19	0,18	0,21	0,2	0,2	0,19	0,20	0,01
Alluminio [mg/l Al ⁺⁺⁺]	0,53	0,38	0,82	0,56	0,527	0,452	0,31	0,924	0,56	0,21
Solfati [mg/l SO ₄ ^{- -}]	46,42	35	31,2	31,1	31,5	36,9	53,5	32,7	37,29	8,29
Ossidabilità [mg/l O ₂ cons]	2,39	2,08	2,37	2,17	2,41	3,03	2,04	2,62	2,39	0,32
Nitrati [mg/l NO ₃ ⁻]	2,96	0,94	1,55	1,46	1	1	1,2	0,8	1,36	0,69
Cloruri [mg/l Cl ⁻]	16,29	9	9,6	8,93	6,9	8,6	11,3	7,5	9,77	2,95
Ossigeno disciolto [mg/l O ₂]	7,75	8,62	8,3	9,21	8,2	7,9	7,8	8,1	8,24	0,49
Temperatura acqua [°C]	16,43	15,1	14,8	15,5	16	15,9	15,9	16,6	15,78	0,62
Conducibilità 20° [µS/cm]	433,1	421	393	364	379	398	423	417	403,51	24,04
pH	8,23	8,27	8,24	8,2	8,15	8,08	8,18	8,14	8,19	0,06
Torbidità [FTU]	6,13	4,78	7,5	4,6	6,9	6,6	4,7	13	6,78	2,75
Portata [l/s]	561	285	186	219	207	320	389	200	295,88	12803
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
media										
devst										

Tabella 4.27: Dati 28 parametri per il mese di Maggio dal 2002 al 2009

Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]	13	19	5	5	4	3	9	8	8,25	5,42
Lieviti [ufc/100ml]	300	300	276,6	290	300	300	300	280	293,33	9,94
Funghi [ufc/100ml]	13,2	5,2	9,3	10,5	16,6	5	26	14,5	12,54	6,84
Attinomiceti [ufc/100ml]	29,2	34,25	28	63	51	57	60	38	45,06	14,30
Alghe [N/ml]	968	2639	2342,6	3024,7	2157	822	2154	1282	1923,66	805,84
Aeromonas spp [ufc/100ml]	419,1	476,25	452,69	426,15	436	453	446	858	495,90	147,38
Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	19,77	118,1	93,53	96,76	59	44	22	36	61,15	37,29
Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	10,88	25,08	37,31	35,8	26	20	16	35	25,76	9,78
Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	1,33	8,13	22,43	13,86	18	11	12,25	11	12,25	6,31
Enterococchi [ufc/100ml]	0,6	1,56	2,35	1,16	2	1	2	1	1,46	0,61
Coliformi Fecali [ufc/100ml]	2,27	5,77	27,22	2,36	3	2	2	2	5,83	8,74
Carbonio Org.Tot [mg/l C]	7,62	3,74	3,47	5,12	4,29	3,2	2,45	4,09	4,25	1,57
Rame [µg/l Cu]	0	0	0	1,07	6	0	1,5	0	1,07	2,08
Bario [µg/l Ba]	44	25	30	43,17	48	46	66	43,17	43,17	12,29
Manganese [µg/l Mn ⁺⁺]	5,7	12	23,6	15,7	7,8	15	27	18,8	15,70	7,33
Ferro [µg/l Fe ⁺⁺]	75,2	89	54,5	167,45	557	72	157	167,45	167,45	164,05
Fluoruri [mg/l F ⁻]	0,22	0,23	0,2	0,19	0,18	0,19	0,2	0,2	0,20	0,02
Alluminio [mg/l Al ⁺⁺⁺]	0,92	0,52	1,57	0,67	0,447	0,421	0,311	0,491	0,67	0,41
Solfati [mg/l SO ₄ ^{- -}]	47,55	40,7	30,3	32,7	33,1	37,2	51,7	33,4	38,33	7,73
Ossidabilità [mg/l O ₂ cons]	2,2	2,05	2,51	2,24	2,49	2,85	1,93	2,47	2,34	0,30
Nitrati [mg/l NO ₃ ⁻]	2,7	0,93	1,47	1,79	1,1	1	1,2	0,8	1,37	0,62
Cloruri [mg/l Cl ⁻]	14,93	9,41	9,15	8,88	7,1	8,5	11,3	7,4	9,58	2,52
Ossigeno disciolto [mg/l O ₂]	7,28	8,08	7,25	7,59	7,3	6,8	6,8	7,9	7,38	0,46
Temperatura acqua [°C]	19,47	18,3	17,9	17,5	16,5	18,3	19	18,3	18,16	0,91
Conducibilità 20° [µS/cm]	434,62	422	398	376	387	410	443	428	412,33	23,75
pH	7,91	8,09	8,07	8,04	8,03	7,93	8,14	7,98	8,02	0,08
Torbidità [FTU]	3,84	6,38	5,85	6,13	7	5,5	5,5	10,1	6,29	1,79
Portata [l/s]	686	314	190	227	228	364	498	222	341,13	172,24
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
media										
devst										

Tabella 4.28: Dati 28 parametri per il mese di Giugno dal 2002 al 2009

Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]	3,6	5	3	22	14	5	5	8	8,20	6,58
Lieviti [ufc/100ml]	300	300	300	300	270	195	150	300	264,38	58,88
Funghi [ufc/100ml]	15,4	9	11,66	10	13,5	3	8	22	11,57	5,64
Attinomiceti [ufc/100ml]	41,7	18,5	35,33	30	34	33	7	53	31,57	13,94
Alghe [N/ml]	5081,5	1676,2	2657	2865	2530	1944	2580	23768	5387,71	7496,99
Aeromonas spp [ufc/100ml]	318,67	493,4	448,73	397	436	438	457	854	480,35	159,54
Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	20,25	55,74	57,56	47	52	26	37	31	40,82	14,24
Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	26,6	27,89	33,56	31	26	15	20	24	25,51	5,92
Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	2,13	6,67	22,22	13	18	16	9	9	12,00	6,56
Enterococchi [ufc/100ml]	1,5	3,89	1,19	2	3	1	5	1	2,32	1,50
Coliformi Fecali [ufc/100ml]	6,16	41,1	10,7	4	5	1	12	2	10,25	13,05
Carbonio Org.Tot [mg/l C]	5,72	3,1	4,1	5,09	3,63	4,76	2,18	4,19	4,10	1,13
Rame [µg/l Cu]	0	0	0	0,29	0	0	2	0	0,29	0,70
Bario [µg/l Ba]	27	25,5	18	29,5	25	33	14	64	29,50	15,20
Manganese [µg/l Mn ⁺⁺]	12,3	17	24	22,23	25	22	35	20,3	22,23	6,59
Ferro [µg/l Fe ⁺⁺]	108	27	23,9	176,98	490	176	237	176,98	176,98	147,49
Fluoruri [mg/l F]	0,2	0,21	0,24	0,20	0,18	0,19	0,19	0,21	0,20	0,02
Alluminio [mg/l Al ⁺⁺⁺]	0,5	0,59	0,34	0,49	0,586	0,473	0,424	0,532	0,49	0,08
Solfati [mg/l SO ₄ ⁻]	49,84	44,3	32,5	32,9	35,2	40,8	47,9	36,6	40,01	6,76
Ossidabilità [mg/l O ₂ cons]	2,2	1,76	2,58	1,57	2,58	2,59	1,87	2,29	2,18	0,40
Nitrati [mg/l NO ₃ ⁻]	1,93	0,43	1,59	1,3	0,94	0,85	0,91	0,6	1,07	0,50
Cloruri [mg/l Cl ⁻]	14,22	9,39	9,23	9,2	7,4	6,2	11,1	8,3	9,38	2,44
Ossigeno disciolto [mg/l O ₂]	6,12	7,76	6,77	7,4	6,6	6,2	7,6	7,2	6,96	0,63
Temperatura acqua [°C]	21,6	23,3	20,8	20,4	19,1	22,1	21,8	20,7	21,23	1,26
Conducibilità 20° [µS/cm]	426,13	403	403	387	403	420	470	443	419,39	26,78
pH	7,82	8,06	7,89	7,97	7,91	7,85	8,02	7,87	7,92	0,08
Torbidità [FTU]	7,34	6,02	3,91	10,7	9,1	8,8	8,8	9,4	8,01	2,17
Portata [l/s]	714	478	243	311	347	499	582	325	437,38	159,21
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
media										
devst										

Tabella 4.29: Dati 28 parametri per il mese di Luglio dal 2002 al 2009

Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]	7,5	5	6	12	0	10	5	3	6,06	3,80
Lieviti [ufc/100ml]	300	300	276,6	300	300	287,5	235	260,5	282,45	23,98
Funghi [ufc/100ml]	12	5	7	13	10	6	13,5	12	9,81	3,36
Attinomiceti [ufc/100ml]	41	19	31,3	37	18	26,5	23	59	31,85	13,69
Alghe [N/ml]	12895	6809,5	3056,3	2761	7028	648,8	884	12522	5825,88	4862,56
Aeromonas spp [ufc/100ml]	431,63	442,31	460	345	442	461	498	770	481,24	124,56
Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	71,89	53,55	24,81	43	56	27	22	27	40,66	18,34
Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	28,68	37,48	23,75	27	35	18	19	24	26,61	6,97
Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	4,25	3	7,78	17	25	14	12	11	11,75	7,15
Enterococchi [ufc/100ml]	1,79	2,14	0,4	1	4	0	2	1	1,54	1,25
Coliformi Fecali [ufc/100ml]	8,5	13,96	12,83	5	4	2	8	2	7,04	4,61
Carbonio Org.Tot [mg/l C]	3,12	2,05	3,12	3,2	3,86	3,97	2,05	3,59	3,12	0,74
Rame [µg/l Cu]	0	0	0	0,14	1	0	0	0	0,14	0,35
Bario [µg/l Ba]	36	36	39	41,64	37	38	61	44,5	41,64	8,35
Manganese [µg/l Mn ⁺⁺]	91	11,8	20,2	45,84	38	68	56	35,9	45,84	25,66
Ferro [µg/l Fe ⁺⁺]	129	164	109	193,33	335	67	356	193,33	193,33	103,23
Fluoruri [mg/l F ⁻]	0,24	0,21	0,19	0,2	0,18	0,2	0,19	0,19	0,20	0,02
Alluminio [mg/l Al ⁺⁺⁺]	0,5	0,58	0,33	0,51	0,679	0,4112	0,324	0,757	0,51	0,16
Solfati [mg/l SO ₄ ⁻⁻]	49,54	47,8	34	43,32	36,5	44,9	50	40,5	43,32	5,94
Ossidabilità [mg/l O ₂ cons]	1,91	1,94	2,34	2,04	2,5	2,31	1,73	1,56	2,04	0,32
Nitrati [mg/l NO ₃ ⁻]	0,85	0,51	0,77	0,59	0,65	0,3	0,77	0,3	0,59	0,21
Cloruri [mg/l Cl ⁻]	14,56	9,77	9,1	10,75	7,8	11,9	11,2	10,9	10,75	2,02
Ossigeno disciolto [mg/l O ₂]	6,28	6,9	5,7	6,5	7,2	5,7	6	6,33	6,33	0,54
Temperatura acqua [°C]	22,69	23,6	22,7	22,2	20,5	23,9	23,6	23,4	22,82	1,10
Conducibilità 20° [µS/cm]	424,87	399	395	375	402	410	451	441	412,23	25,24
pH	7,99	8,02	7,88	8,01	7,87	7,88	7,88	7,84	7,92	0,07
Torbidità [FTU]	6,91	7,2	5,2	8	11,2	10	8,4	16,2	9,14	3,40
Portata [l/s]	702	578	377	390	422	609	688	389	519,38	139,77
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
media										
devst										

Tabella 4.30: Dati 28 parametri per il mese di Agosto dal 2002 al 2009

Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]	9	3	7	7	6,29	10	5	3	6,29	2,55
Lieviti [ufc/100ml]	300	300	290	147	300	287,5	235	260,5	265,00	52,98
Funghi [ufc/100ml]	14,3	9	7,6	8	10	6	13,5	12	10,05	2,96
Attinomiceti [ufc/100ml]	42,6	103	32	38	18	26,5	23	59	42,76	27,51
Alghe [N/ml]	4691,2	65245	2323,2	4222	7028	648,8	884	12522	4855,46	3902,21
Aeromonas spp [ufc/100ml]	370,6	451,15	425,5	411	442	461	498	770	478,66	123,49
Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	193,3	42,85	15,77	22	42	16	26	18	46,99	60,11
Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	51,4	39,25	15,69	20	26	18	22	15	25,92	12,89
Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	14,8	4,63	10,25	8	14	18	7	12	11,09	4,46
Enterococchi [ufc/100ml]	6,07	8,54	6,71	143	1	0	4	1	21,29	49,27
Coliformi Fecali [ufc/100ml]	19,6	29,67	12,85	7	3	1	3	2	9,77	10,27
Carbonio Org. Tot [mg/l C]	8,625	2,08	2,94	1,54	3,08	3,25	1,89	2,57	3,25	2,26
Rame [µg/l Cu]	0	0,6	0	0,09	0	0	0	0	0,09	0,21
Bario [µg/l Ba]	0	38	31	45,67	60	85	45,67	60	45,67	24,83
Manganese [µg/l Mn ⁺⁺]	61,4	26	20	28,9	37	18	21	18,9	28,90	14,59
Ferro [µg/l Fe ⁺⁺]	98	268	71,5	127,58	38	82	208	127,58	127,58	75,88
Fluoruri [mg/l F]	0,18	0,24	0,22	0,2	0,17	0,23	0,19	0,22	0,21	0,03
Alluminio [mg/l Al ⁺⁺⁺]	0,83	0,64	0,37	0,54	0,5562	0,4074	0,367	0,629	0,54	0,16
Solfati [mg/l SO ₄ ^{- -}]	46,79	46,6	39,8	35,8	39,9	48,2	53,3	46,5	44,61	5,65
Ossidabilità [mg/l O ₂ cons]	1,99	1,92	1,92	1,52	2,16	2,24	1,45	1,32	1,82	0,34
Nitrati [mg/l NO ₃ ⁻]	0,67	0,25	0,35	0,25	0,28	0,13	0,23	0,2	0,30	0,16
Cloruri [mg/l Cl]	14,47	9,48	9,7	9,8	9,2	13,7	12,4	13,6	11,54	2,22
Ossigeno disciolto [mg/l O ₂]	6,26	8,28	6	5,4	7,8	7,4	6,9	6,86	6,86	0,96
Temperatura acqua [°C]	20,31	20,9	21,6	21,4	21	20,7	20,9	21,5	21,04	0,44
Conducibilità 20° [µS/cm]	485,6	391	372	358	389	397	425	420	404,70	39,52
pH	8,14	8,18	8,13	8,04	8,03	8,04	8,12	8,15	8,10	0,06
Torbidità [FTU]	9,97	9,4	5	5,9	9,9	8,9	7,7	10,6	8,42	2,04
Portata [l/s]	681	621	480	413	500	688	679	448	563,75	115,23
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
media										
devst										

Tabella 4.31: Dati 28 parametri per il mese di Settembre dal 2002 al 2009

Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]	19	5	8	4	4	1	2	2	5,63	5,83
Lieviti [ufc/100ml]	300	140	300	250	300	200	68	240	224,75	84,70
Funghi [ufc/100ml]	18	3,6	5,5	5	18	16	17	14,5	12,20	6,33
Attinomyceti [ufc/100ml]	31	22,6	58	95	36	29	37	53,5	45,26	23,42
Alghe [N/ml]	1438,2	2549,4	1540,7	1864	1713	1049	1406	3846	1925,79	890,44
Aeromonas spp [ufc/100ml]	460	438,83	359,52	392	399	451	500	858	482,29	158,11
Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	117,28	61,3	48,56	22	23	17	21	26	42,02	34,15
Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	48,06	52,89	33,02	18	18	15	18	21	28,00	14,95
Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	10	32,6	34	6	7	10	8	17	15,58	11,44
Enterococchi [ufc/100ml]	19,33	5,17	61,72	76	1	1	1	1	20,78	30,56
Coliformi Fecali [ufc/100ml]	55,3	55,31	11,04	4	2	1	1	1	16,33	24,29
Carbonio Org.Tot [mg/l C]	6,69	2,39	2,01	1,44	2,37	2,81	2,1	2,67	2,81	1,62
Rame [µg/l Cu]	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0,08	0,21
Bario [µg/l Ba]	20,5	38	17	32,90	29	32,90	60	32,90	32,90	13,00
Manganese [µg/l Mn ⁺⁺]	8	35	36	21	29	25	20	38,4	26,55	10,19
Ferro [µg/l Fe ⁺⁺]	226,5	530	100	180	479	125	84	246,36	246,36	169,82
Fluoruri [mg/l F ⁻]	0,27	0,2	0,2	0,18	0,17	0,22	0,2	0,19	0,20	0,03
Alluminio [mg/l Al ⁺⁺⁺]	1,14	0,69	0,37	0,895	0,408	0,356	0,327	0,644	0,60	0,30
Solfati [mg/l SO ₄ ⁻²]	51,8	46,1	39,7	36,3	42	47,6	50,1	45,8	44,93	5,26
Ossidabilità [mg/l O ₂ cons]	2,16	1,56	1,98	1,6	1,9	2,56	1,36	1,35	1,81	0,42
Nitrati [mg/l NO ₃ ⁻]	0,99	0,22	0,22	0,17	0,17	0,09	0,21	0,2	0,28	0,29
Cloruri [mg/l Cl ⁻]	13,32	10,5	9,72	9,9	9,6	13,4	12,5	13,6	11,57	1,80
Ossigeno disciolto [mg/l O ₂]	6,89	7,71	5,8	6,5	8	6	7,2	8	7,01	0,87
Temperatura acqua [°C]	16,82	16,8	19,1	17,7	18,3	16,7	17,2	17	17,45	0,86
Conducibilità 20° [µS/cm]	420,39	399	375	358	383	392	424	415	395,80	23,36
pH	8,05	8,18	8,16	8,17	8,15	7,97	8,16	8,22	8,13	0,08
Torbidità [FTU]	9,56	9,51	5,3	6,7	6,9	7,5	5,8	12,7	8,00	2,45
Portata [l/s]	631	602	477	403	511	614	667	459	545,50	95,34
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
media										
devst										

Tabella 4.32: Dati 28 parametri per il mese di Ottobre dal 2002 al 2009

Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]	14	0	21	2	8	1	18	7	888	801
Lieviti [ufc/100ml]	300	281,5	276,6	280	260	210	200	200	251,01	41,04
Funghi [ufc/100ml]	20	15,5	9,6	2,5	9	12	19	5	11,58	6,30
Attinomiceti [ufc/100ml]	28	51	45	29	35	18	17	58	35,13	15,04
Alghie [N/ml]	803,8	2153,2	1852	1335	1021	2827,4	644	2464	1637,55	807,52
Aeromonas spp [ufc/100ml]	453	416,3	439,23	377	402	448	706	860	512,69	173,65
Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	81,66	73	76	94	51	60	90	47	71,58	17,43
Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	37,16	38,23	49,48	48	21	56	80	35	45,61	17,55
Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	13	37,8	52,5	12	15	23	36	17	25,79	14,72
Enterococchi [ufc/100ml]	2,2	0,56	22,82	7	1	24	22	5	10,57	10,47
Coliformi Fecali [ufc/100ml]	4,4	32,42	36,36	24	2	29	37	12	22,15	14,15
Carbonio Org.Tot [mg/l C]	5,5	2,41	3,07	2,96	3,31	3,79	2,16	2,83	3,25	1,04
Rame [µg/l Cu]	0,33	0	0	1	0	0	0	0	0,17	0,36
Bario [µg/l Ba]	18,4	50	28	44	20	11	60	33,06	33,06	17,03
Manganese [µg/l Mn ⁺⁺]	5,4	54	40	28	19	50	42	53	36,43	17,52
Ferro [µg/l Fe ⁺⁺]	43	205	50,5	1518	141	569	1027	507,64	507,64	527,15
Fluoruri [mg/l F]	0,2	0,2	0,2	0,19	0,17	0,2	0,21	0,18	0,19	0,01
Alluminio [mg/l Al ⁺⁺⁺]	0,64	1,03	0,81	0,694	0,327	0,795	2,256	1,249	0,98	0,58
Solfati [mg/l SO ₄ ^{- -}]	45,13	51	39	35,9	40,9	50	52,6	44,9	44,93	6,03
Ossidabilità [mg/l O ₂ cons]	2,26	1,73	2,29	1,76	2,14	2,74	1,56	1,46	1,99	0,44
Nitrati [mg/l NO ₃ ⁻]	0,82	0,36	0,68	0,57	0,13	0,78	0,7	0,8	0,61	0,24
Cloruri [mg/l Cl ⁻]	12,6	11,2	9,38	9,7	9,5	13,9	12,9	14	11,65	1,96
Ossigeno disciolto [mg/l O ₂]	7,4	7,9	6,29	6,3	7,9	6,3	6,4	8,3	7,10	0,86
Temperatura acqua [°C]	14,5	13,7	14,1	13,8	14	12,7	13,5	13,7	13,75	0,52
Conducibilità 20° [µS/cm]	435,8	418	381	362	378	390	428	425	402,23	27,68
pH	8,18	8,22	8,09	7,95	8,09	7,86	8,01	8,15	8,07	0,12
Torbidità [FTU]	7,82	10,9	10,9	11,5	5,2	12,9	30,3	19,1	13,58	7,86
Portata [l/s]	651	618	548	443	528	600	649	474	563,88	78,65
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
media										
devst										

Tabella 4.32: Dati 28 parametri per il mese di Novembre dal 2002 al 2009

Stafilococchi patogeni [ufc/250ml]	20	3	29	34	7	2	21	10	15,75	12,04
Lieviti [ufc/100ml]	300	195	300	300	250	160	300	200	250,63	58,09
Funghi [ufc/100ml]	17	15	25	5	10	26	43	15	19,50	11,78
Attinomiceti [ufc/100ml]	43,6	38	60	49	21	44	113	21	48,70	29,18
Alghe [N/ml]	892,5	388,4	1140	1008,4	359,7	1004	833,29	1040	833,29	298,17
Aeromonas spp [ufc/100ml]	486,15	324,73	445	454	419	435	1024	863	556,36	247,20
Colonie in Agar 22°C [ufc/1ml]	193,89	157,53	139,8	107	44	64	240	85	128,90	66,90
Colonie in Agar 37°C [ufc/1ml]	97,37	108,87	82,14	118	39	47	168	68	91,05	41,86
Anaerobi S.R. [ufc/100ml]	26,83	17,83	9	31	11	21	43	20	22,46	11,06
Enterococchi [ufc/100ml]	97,15	65,93	48,98	63	7	15	82	52	53,88	30,77
Coliformi Fecali [ufc/100ml]	116,3	121,04	63,78	119	9	17	103	36	73,14	47,64
Carbonio Org.Tot [mg/l C]	5,57	2,43	2,35	4,8	2,65	3,48	3,55	2,96	3,47	1,16
Rame [µg/l Cu]	1,8	0	0	0	0	0	0	0,26	0,26	0,63
Bario [µg/l Ba]	33	111,4	24,5	46	78	92	64,15	64,15	64,15	29,45
Manganese [µg/l Mn ⁺⁺]	91	25	54	34	38,5	18,1	152	39,1	56,46	44,59
Ferro [µg/l Fe ⁺⁺]	492	130	96	2510	195	366	143	561,71	561,71	806,41
Fluoruri [mg/l F ⁻]	0,22	0,2	0,2	0,18	0,15	0,21	0,15	0,19	0,19	0,03
Alluminio [mg/l Al ⁺⁺⁺]	5	0,76	1,11	2,1507	0,6456	0,925	3,965	1,233	1,97	1,64
Solfati [mg/l SO ₄ ⁻²]	58,87	50,64	39,9	34,4	38,8	53,4	35,9	48,7	45,08	9,01
Ossidabilità [mg/l O ₂ cons]	3,21	2,02	2,7	2,54	2,36	3,06	3,47	1,78	2,64	0,59
Nitrati [mg/l NO ₃ ⁻]	2,05	1,44	1,4	1,03	0,28	2,2	2,5	1,4	1,54	0,71
Cloruri [mg/l Cl ⁻]	12,76	11,12	9,6	10,4	9,4	13	8	14	11,04	2,07
Ossigeno disciolto [mg/l O ₂]	8,98	8,4	8,5	9,5	8,7	7,5	8	9,1	8,59	0,64
Temperatura acqua [°C]	10,78	9,7	11,3	9,5	11,4	9,5	9,3	10,6	10,26	0,86
Conducibilità 20° [µS/cm]	418,6	417	390	340	375	396	361	422	389,95	29,70
pH	8,17	8,22	8,1	8,25	8,08	7,95	7,95	8,17	8,11	0,11
Torbidità [FTU]	26,6	14,3	16,4	35,1	9,9	13,5	64,1	27,2	25,89	17,65
Portata [l/s]	569	582	543	399	533	637	517	463	530,38	73,36
2002										
2003										
2004										
2005										
2006										
2007										
2008										
2009										
media										
devst										

Tabella 4.34: Dati 28 parametri per il mese di Dicembre dal 2002 al 2009

4.3.1 Ricerca degli outliers

Nel paragrafo precedente, come già nel paragrafo 4.1, sono stati realizzati due passaggi fondamentali del processo di *data cleaning*, dapprima l'eliminazione di eventuali "rumori" presenti nei dati e poi la sostituzione dei dati mancanti con i valori medi delle distribuzioni mensili dei parametri interessati. Non resta quindi che proseguire con l'ultima operazione inerente il *data clearing*, l'eliminazione dei valori anomali (outliers).

Finora, è stata analizzata la popolazione di partenza senza eliminare alcun dato che potesse sembrare un *outlier*, per non incorrere nell'errore di eliminare un valore di un parametro che risultasse apparentemente alterato, non perché anomalo, ma perché dipendente da una variazione di valore di un altro parametro. I metodi per la ricerca degli *outliers* multivariati sono più complessi rispetto al caso monodimensionale e sono sostanzialmente basati sull'individuazione di questi in base alle distanze robuste. Possono essere adottati diversi tipi di distanze, una di queste, utilizzata nel caso in esame, è la distanza di Mahalanobis.

4.3.2 Metodo della distanza di Mahalanobis

Il metodo standard per l'analisi multivariata degli outliers è la stima robusta dei parametri nella distanza di Mahalanobis ed il paragone con un valore critico della distribuzione del χ^2 . Gli *outliers* multivariati possono essere semplicemente definiti come osservazioni che hanno una grande distanza di Mahalanobis al quadrato. Innanzitutto, occorre calcolare la matrice di covarianza associata al dataset e poi valutare il quadrato della distanza di Mahalanobis con la seguente formula

$$D^2 = (x - \mu)' \Sigma^{-1} (x - \mu)$$

in cui Σ rappresenta la matrice di covarianza calcolata sul set di dati da analizzare.

Per poter calcolare in maniera più agevole la distanza di Mahalanobis si è fatto ricorso al software Matlab. Dopo aver calcolato la distanza di Mahalanobis, è stato calcolato il suo quadrato per un confronto con l'andamento dei quantili della distribuzione χ^2 per un campione causale tratto da una distribuzione normale multivariata.

Come nel caso univariato, anche in quello multivariato è possibile utilizzare il Q-Q plot per individuare gli outliers, questo viene costruito seguendo vari passaggi di seguito riportati:

- Ordinare le osservazioni X_i dalla più piccola alla più grande,
- Stimare la proporzione della distribuzione che dovrebbe essere minore o uguale a ciascun valore della statistica d'ordine. Per l' i -ma osservazione nella successione ordinata tale proporzione è pari a ,

$$p_i = \frac{i - 0,5}{N}$$

dove i è il rango dell'osservazione e N la taglia del campione,

- Calcolare il quantile atteso per la distribuzione Normale

$$q_i = \Phi^{-1} \frac{i - 0,5}{N}$$

dove Φ^{-1} è l'inversa della funzione di distribuzione della Normale standard,

- Rappresentare in un diagramma cartesiano i quantili osservati X_i rispetto ai quantili attesi q_i e verificare la linearità del grafico: se la distribuzione osservata è normale i punti devono distribuirsi lungo una retta. Se i punti non si distribuiscono approssimativamente lungo una retta, l'ipotesi di normalità deve essere rifiutata. Nel secondo caso i valori che si distanzieranno notevolmente dagli altri saranno identificati come outliers.

Dopo il confronto tra la distanza di Mahalanobis al quadrato e la probabilità cumulativa della distribuzione χ^2 , sono stati eliminati i valori della distanza corrispondenti a valori di $\chi^2 > \chi^2_{p;0.975}$.

Per una ricerca più scrupolosa degli eventuali outliers, le operazioni finora descritte sono state applicate sia sui valori dei 27 parametri per cui si dispone di dati dal 2002 al 2009 (tralasciando solo il ferro), sia sui valori dei 33 parametri determinati fino a giugno 2005, che sulla totalità dei parametri considerati solo dal 2002 al 2004. In quest'ultimo caso, poichè il calcolo della distanza di Mahalanobis è possibile solo per matrici di dati aventi numero di colonne maggiore di quello delle righe, sono stati analizzati solo 36 parametri, scegliendo di escludere il cromo e il TOC che presentano un numero inferiore di valori noti rispetto agli altri parametri.

Di seguito si riportano in forma tabellare i calcoli realizzati nei tre casi per determinare gli eventuali outliers multivariati, correlati dai rispettivi q-q plots in cui sono evidenziati i punti di outliers.

Anni	Mesi	Distanza mahalanobis	Dist. ordinate	Dist.mahal.^2	Osservazioni	Prob.cumulat. χ^2
2002	gennaio	59,148	8,1068	65,72020624	1	0,005208333
	febbraio	43,073	8,8439	78,21456721	2	0,015625
	marzo	36,584	9,7599	95,25564801	3	0,026041667
	aprile	32,893	10,007	100,140049	4	0,036458333
	maggio	28,336	10,61	112,5721	5	0,046875
	giugno	31,87	11,3	127,69	6	0,057291667
	luglio	20,462	11,464	131,423296	7	0,067708333
	agosto	36,792	11,514	132,572196	8	0,078125
	settembre	52,72	11,582	134,142724	9	0,088541667
	ottobre	28,48	11,746	137,968516	10	0,098958333
	novembre	17,213	11,882	141,181924	11	0,109375
	dicembre	68,015	12,473	155,575729	12	0,119791667
2003	gennaio	55,213	12,945	167,573025	13	0,130208333
	febbraio	50,567	13,008	169,208064	14	0,140625
	marzo	31,335	13,599	184,932801	15	0,151041667
	aprile	19,52	13,829	191,241241	16	0,161458333
	maggio	12,945	13,84	191,5456	17	0,171875
	giugno	20,271	15,443	238,486249	18	0,182291667
	luglio	15,932	15,674	245,674276	19	0,192708333
	agosto	16,909	15,7	246,49	20	0,203125
	settembre	30,493	15,754	248,188516	21	0,213541667
	ottobre	27,565	15,932	253,828624	22	0,223958333
	novembre	19,46	15,938	254,019844	23	0,234375
	dicembre	50,845	16,613	275,991769	24	0,244791667
2004	gennaio	33,882	16,785	281,736225	25	0,255208333
	febbraio	29,265	16,909	285,914281	26	0,265625
	marzo	29,425	17,207	296,080849	27	0,276041667
	aprile	19,783	17,213	296,287369	28	0,286458333
	maggio	13,829	17,342	300,744964	29	0,296875
	giugno	17,207	17,545	307,827025	30	0,307291667
	luglio	20,771	18,077	326,777929	31	0,317708333
	agosto	11,746	19,46	378,6916	32	0,328125
	settembre	10,61	19,52	381,0304	33	0,338541667
	ottobre	26,431	19,595	383,964025	34	0,348958333
	novembre	31,947	19,783	391,367089	35	0,359375
	dicembre	20,432	19,796	391,881616	36	0,369791667
2005	gennaio	21,368	19,89	395,6121	37	0,380208333
	febbraio	25,895	20,119	404,774161	38	0,390625
	marzo	48,78	20,172	406,909584	39	0,401041667
	aprile	9,7599	20,271	410,913441	40	0,411458333
	maggio	23,968	20,395	415,956025	41	0,421875
	giugno	15,674	20,419	416,935561	42	0,432291667
	luglio	15,7	20,432	417,466624	43	0,442708333
	agosto	17,545	20,462	418,693444	44	0,453125
	settembre	63,525	20,771	431,434441	45	0,463541667
	ottobre	28,147	21,368	456,591424	46	0,473958333
	novembre	28,52	21,809	475,632481	47	0,484375
	dicembre	42,142	21,951	481,846401	48	0,494791667

continua

Anni	Mesi	Distanza mahalanobis	Dist. ordinate	Dist.mahal.^2	Osservazioni	Prob.cumulat. χ^2
2006	gennaio	31,999	22,162	491,154244	49	0,494791667
	febbraio	17,342	22,34	499,0756	50	0,505208333
	marzo	82,02	22,735	516,880225	51	0,515625
	aprile	21,809	22,815	520,524225	52	0,526041667
	maggio	15,938	23,968	574,465024	53	0,536458333
	giugno	11,514	24,002	576,096004	54	0,546875
	luglio	8,1068	25,578	654,234084	55	0,557291667
	agosto	13,599	25,895	670,551025	56	0,578125
	settembre	11,882	26,014	676,728196	57	0,588541667
	ottobre	11,582	26,431	698,597761	58	0,598958333
	novembre	12,473	26,751	715,616001	59	0,609375
	dicembre	21,951	27,262	743,216644	60	0,619791667
2007	gennaio	15,754	27,565	759,829225	61	0,630208333
	febbraio	19,796	27,985	783,160225	62	0,640625
	marzo	26,751	28,147	792,253609	63	0,651041667
	aprile	11,464	28,336	802,928896	64	0,661458333
	maggio	10,007	28,48	811,1104	65	0,671875
	giugno	13,84	28,52	813,3904	66	0,682291667
	luglio	26,014	29,265	856,440225	67	0,692708333
	agosto	15,443	29,425	865,830625	68	0,703125
	settembre	24,002	30,227	913,671529	69	0,713541667
	ottobre	19,595	30,493	929,823049	70	0,723958333
	novembre	30,227	31,229	975,250441	71	0,734375
	dicembre	27,985	31,335	981,882225	72	0,744791667
2008	gennaio	38,955	31,87	1015,6969	73	0,755208333
	febbraio	22,34	31,947	1020,610809	74	0,765625
	marzo	22,735	31,999	1023,936001	75	0,776041667
	aprile	22,162	32,893	1081,949449	76	0,786458333
	maggio	13,008	33,882	1147,989924	77	0,796875
	giugno	18,077	34,882	1216,753924	78	0,807291667
	luglio	31,229	36,272	1315,657984	79	0,817708333
	agosto	16,785	36,584	1338,389056	80	0,828125
	settembre	11,3	36,792	1353,651264	81	0,838541667
	ottobre	27,262	38,955	1517,492025	82	0,848958333
	novembre	36,272	42,142	1775,948164	83	0,859375
	dicembre	64,032	43,073	1855,283329	84	0,869791667
2009	gennaio	57,95	48,78	2379,4884	85	0,880208333
	febbraio	34,882	50,567	2557,021489	86	0,890625
	marzo	16,613	50,845	2585,214025	87	0,901041667
	aprile	8,8439	52,72	2779,3984	88	0,911458333
	maggio	19,89	55,213	3048,475369	89	0,921875
	giugno	22,815	57,95	3358,2025	90	0,932291667
	luglio	59,083	59,083	3490,800889	91	0,942708333
	agosto	20,395	59,148	3498,485904	92	0,953125
	settembre	20,172	63,525	4035,425625	93	0,963541667
	ottobre	20,119	64,032	4100,097024	94	0,973958333
	novembre	20,419	68,015	4626,040225	95	0,984375
	dicembre	25,578	82,02	6727,2804	96	0,994791667

Tabella 4.35: Distanza di Mahalanobis per dati dal 2002 al 2009

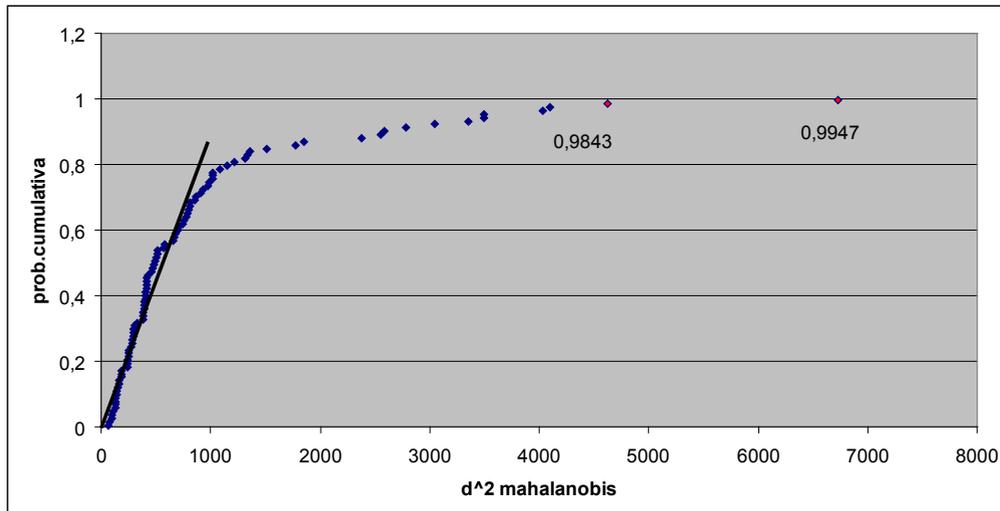


Figura 4.40: Q-Q plot del quadrato della distanza di Mahalanobis vs. i quantili della distribuzione χ^2

Come risulta visibile sia dalla tabella che del grafico appena mostrati, sono da considerarsi outliers tutti i dati sia chimico-fisici che batteriologici relativi a dicembre 2002 e marzo 2006.

Proseguendo con i risultati derivanti dalle medesime operazioni effettuate per i dati fino al 2005 e fino al 2004, si andranno ad aggiungere altri outliers da eliminare nell'analisi delle componenti principali.

Anni	Mesi	Distanza mahalanobis	Dist. ordinate	Dist.mahal.^2	Osservazioni	Prob.cumulat. χ^2
2002	gennaio	38,058	21,772	474,019984	1	0,011904762
	febbraio	29,703	22,286	496,665796	2	0,035714286
	marzo	29,489	22,964	527,345296	3	0,05952381
	aprile	28,966	23,987	575,376169	4	0,083333333
	maggio	30,655	26,713	713,584369	5	0,107142857
	giugno	29,767	27,772	771,283984	6	0,130952381
	luglio	22,286	28,966	839,029156	7	0,154761905
	agosto	32,289	28,97	839,2609	8	0,178571429
	settembre	38,436	29,321	859,721041	9	0,202380952
	ottobre	37,169	29,461	867,950521	10	0,226190476
	novembre	30,659	29,489	869,601121	11	0,25
	dicembre	36,7	29,517	871,253289	12	0,273809524

continua

Anni	Mesi	Distanza mahalanobis	Dist. ordinate	Dist.mahal.^2	Osservazioni	Prob.cumulat. χ^2
2003	gennaio	35,42	29,52	871,4304	13	0,297619048
	febbraio	35,582	29,682	881,021124	14	0,321428571
	marzo	35,742	29,703	882,268209	15	0,345238095
	aprile	32,601	29,767	886,074289	16	0,369047619
	maggio	27,772	30,655	939,729025	17	0,392857143
	giugno	36,558	30,659	939,974281	18	0,416666667
	luglio	33,994	31,281	978,500961	19	0,44047619
	agosto	23,987	32,289	1042,579521	20	0,464285714
	settembre	37,821	32,386	1048,852996	21	0,488095238
	ottobre	32,386	32,601	1062,825201	22	0,511904762
	novembre	35,407	32,989	1088,274121	23	0,535714286
	dicembre	36,036	33,313	1109,755969	24	0,55952381
2004	gennaio	29,461	33,994	1155,592036	25	0,583333333
	febbraio	29,321	34,437	1185,906969	26	0,607142857
	marzo	29,517	34,792	1210,483264	27	0,630952381
	aprile	33,313	35,407	1253,655649	28	0,654761905
	maggio	21,772	35,42	1254,5764	29	0,678571429
	giugno	26,713	35,582	1266,078724	30	0,702380952
	luglio	34,792	35,742	1277,490564	31	0,726190476
	agosto	31,281	36,036	1298,593296	32	0,75
	settembre	22,964	36,188	1309,571344	33	0,773809524
	ottobre	38,213	36,558	1336,487364	34	0,797619048
	novembre	36,188	36,646	1342,929316	35	0,821428571
	dicembre	29,682	36,7	1346,89	36	0,845238095
2005	gennaio	34,437	37,169	1381,534561	37	0,869047619
	febbraio	39,737	37,821	1430,428041	38	0,892857143
	marzo	36,646	38,058	1448,411364	39	0,916666667
	aprile	28,97	38,213	1460,233369	40	0,94047619
	maggio	32,989	38,436	1477,326096	41	0,964285714
	giugno	29,52	39,737	1579,029169	42	0,988095238

Tabella 4.36: Distanza di Mahalanobis per dati dal 2002 a giugno 2005

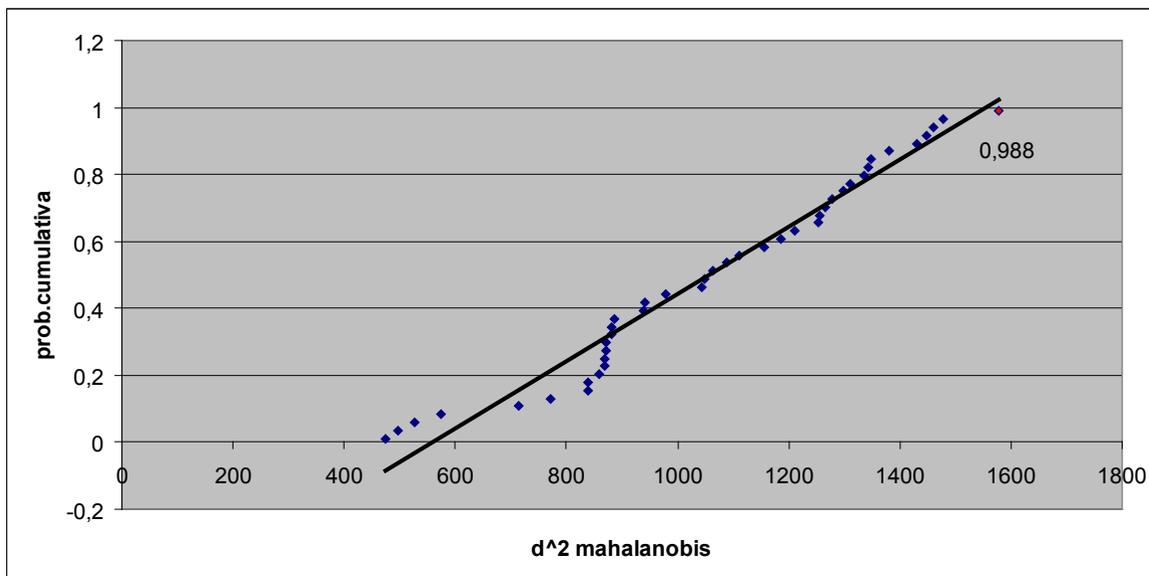


Figura 4.41: Q-Q plot del quadrato della distanza di Mahalanobis vs. i quantili della distribuzione c

Anni	Mesi	Distanza mahalanobis	Dist. ordinate	Dist.mahal.^2	Osservazioni	Prob.cumulat. χ^2
2002	gennaio	34,042	34,042	1158,857764	1	0,0139
	febbraio	34,612	34,541	1193,080681	2	0,0417
	marzo	36,275	34,543	1193,218849	3	0,0694
	aprile	35,263	34,545	1193,357025	4	0,0972
	maggio	35,594	34,612	1197,990544	5	0,125
	giugno	35,243	34,705	1204,437025	6	0,1528
	luglio	34,541	34,708	1204,645264	7	0,1806
	agosto	34,543	34,712	1204,922944	8	0,2083
	settembre	36,111	34,764	1208,535696	9	0,2361
	ottobre	35,072	34,847	1214,313409	10	0,2639
	novembre	35,027	34,872	1216,056384	11	0,2917
	dicembre	35,011	34,879	1216,544641	12	0,3194
2003	gennaio	35,805	34,933	1220,314489	13	0,3472
	febbraio	35,957	35,011	1225,770121	14	0,375
	marzo	35,125	35,011	1225,770121	15	0,4028
	aprile	36,163	35,024	1226,680576	16	0,4306
	maggio	35,39	35,027	1226,890729	17	0,4583
	giugno	34,545	35,034	1227,381156	18	0,4861
	luglio	34,933	35,056	1228,923136	19	0,5139
	agosto	34,764	35,072	1230,045184	20	0,5417
	settembre	35,19	35,1	1232,01	21	0,5694
	ottobre	34,879	35,125	1233,765625	22	0,5972
	novembre	34,847	35,141	1234,889881	23	0,625
	dicembre	35,056	35,19	1238,3361	24	0,6528

continua

Anni	Mesi	Distanza mahalanobis	Dist. ordinate	Dist.mahal.^2	Osservazioni	Prob.cumulat. χ^2
2004	gennaio	35,034	35,211	1239,814521	25	0,6806
	febbraio	35,024	35,243	1242,069049	26	0,7083
	marzo	35,685	35,263	1243,479169	27	0,7361
	aprile	35,624	35,39	1252,4521	28	0,7639
	maggio	35,1	35,594	1266,932836	29	0,7917
	giugno	34,705	35,624	1269,069376	30	0,8194
	luglio	35,211	35,685	1273,419225	31	0,8472
	agosto	34,872	35,805	1281,998025	32	0,875
	settembre	34,712	35,957	1292,905849	33	0,9028
	ottobre	35,011	36,111	1304,004321	34	0,9306
	novembre	35,141	36,163	1307,762569	35	0,9583
	dicembre	34,708	36,275	1315,875625	36	0,9861

Tabella 4.37: Distanza di Mahalanobis per dati dal 2002 al 2004

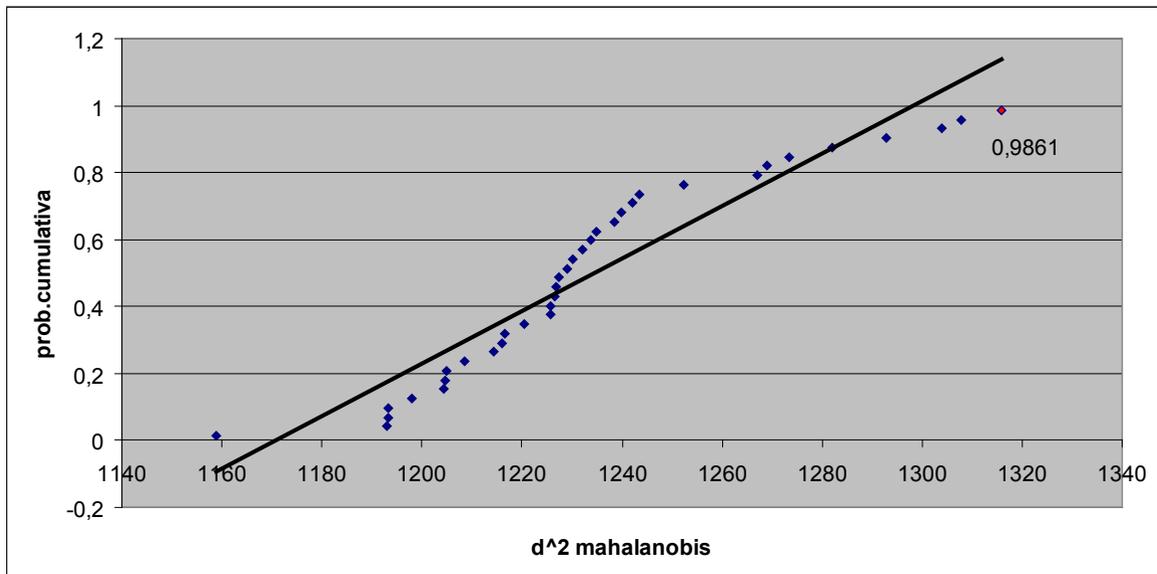


Figura 4.42: Q-Q plot del quadrato della distanza di Mahalanobis vs. i quantili della distribuzione χ^2

In definitiva gli outliers multivariati sono marzo e dicembre 2002, febbraio 2005 e marzo 2006. Questi quattro valori di outliers sono confermati anche da un'analisi visiva dei grafici iniziali (paragrafo 4.2.1). Infatti, a marzo 2002 sono stati rilevati alti valori di conducibilità, alcalinità, calcio, magnesio, cloruri, nitrati, solfati e bario, invece, dicembre 2002 è stato il periodo in cui si è registrata un'elevata torbidità dell'acqua nell'invaso, oltre ad alti valori di ossidabilità, solfati, alluminio, cromo, ferro e manganese. Febbraio 2005 è stato un periodo soggetto ad una notevole crescita microbica, soprattutto da parte dei coliformi e dell'escherichia-coli, probabilmente dipendente dall'alta torbidità registrata, insieme a punte di potassio, cromo e ferro. Infine, marzo 2006 è stato un mese in cui c'è stata una consistente concentrazione di metalli pesanti nell'acqua, specialmente di rame. Tutti i dati relativi a questi quattro mesi devono essere eliminati prima di procedere con l'analisi delle componenti principali.

4.3.3 Analisi delle Componenti Principali

L'analisi delle Componenti Principali è una classica e fondamentale tecnica multivariata che ruota i punti descritti nello spazio attorno a n variabili, in modo da trovare altrettante proiezioni con dispersione (varianza) massima e tra loro ortogonali. Nell'ambito n -dimensionale, le proiezioni che realizzano la maggior varianza quasi sempre riassumono la maggior parte dell'informazione contenuta in numerose variabili. Tali assi di proiezione non corrispondono più ad alcuna variabile originaria e non hanno un significato immediato, sono detti appunto *Componenti Principali*.

Le componenti principali forniscono una spiegazione alternativa della variabilità osservata, con il pregio di descrivere il fenomeno oggetto di studio mediante dimensioni fra loro non correlate e ordinate in termini della loro importanza nella spiegazione. Questo permette (con maggiore o minore successo nei vari casi) di ridurre il numero di variabili da considerare, scartando le ultime componenti principali (laddove si ritenga trascurabile il loro contributo per la spiegazione della variabilità osservata) e di interpretare il fenomeno oggetto di studio, mediante un'opportuna spiegazione delle componenti principali che non sono state scartate.

Le elaborazioni statistiche realizzate con il Matlab restituiscono le Componenti Principali (CP), che sono nello stesso numero delle variabili originarie, con la maggior parte dell'informazione concentrata nelle prime CP (evidenziate in giallo nelle seguenti tabelle) corrispondenti ad una percentuale cumulativa intorno all'80-85%. Il risultato finale della PCA (Principal Component Analysis) come output del Matlab consiste in una tabella che riporta gli autovalori, le percentuali cumulative e la varianza spiegata; una matrice degli *score*, in cui le righe rappresentano le osservazioni, mentre le colonne riportano le CP individuate, tra le quali sono segnate in grassetto le componenti aventi valore assoluto maggiore; ed infine, la più importante, la matrice dei *loading*, ovvero dei pesi delle CP.

Quest'ultima è ottenuta moltiplicando i valori delle CP elevati al quadrato per gli autovalori associati, i risultati così ottenuti rappresentano le vere e proprie coordinate dei descrittori sui nuovi assi formati dalle componenti principali individuate. Il valore dell'autovalore (in valore assoluto) indica il peso di ciascuna variabile, ovvero l'importanza di ciascuna variabile originale in quello specifico autovettore. Di seguito si riportano alcune delle tabelle di loading corredate rispettivamente dai grafici risultanti dalle elaborazioni in Matlab.

I valori numerici contenuti nelle tabelle rappresentano le vere e proprie coordinate dei descrittori sui nuovi assi formati dalle componenti principali calcolate per tutti i parametri di cui si dispone di dati dal 2002 al 2009. I grafici che accompagnano le tabelle sono il *plot* in cui è rappresentata la dispersione delle CP che indicano il 100% della percentuale cumulativa, il *pareto* o istogramma delle frequenze cumulate per le stesse CP, che individua un punto di cuspidè rappresentativo della massima frequenza e infine il *biplot* che fornisce un'immagine del piano principale, con la proiezione dei dati e dei vecchi assi (le vecchie variabili aleatorie). Gli assi orizzontale e verticale sono rispettivamente la prima e la seconda componente principale (Comp.1 e Comp.2).

La proiezione di ogni dato corrisponde al punto del piano principale le cui coordinate sono le prime due coordinate del dato nella nuova base.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
Portata	0,847994	0,004666	0,014551	0,019493	0,080238	0,027848	0,005199	0	0
Torbidità	0,695183	0,153864	0,001088	0,026536	0,113766	0,000195	0,009339	0	0
pH	0,426774	0,199265	0,006412	0,00499	0,270264	0,029392	0,062905	0	0
Conducibilità 20°	0,455362	0,109981	0,328621	0,012337	0,022999	0,070332	0,000359	0	0
Temperatura acqua	0,066645	0,540794	0,119746	0,048211	0,008188	0,192665	0,023732	0	0
Ossigeno disciolto	0,026151	0,938255	0,013329	0,010921	0,006025	0,002921	0,002395	0	0
Cloruri	0,612669	0,284658	0,024255	0,030534	0,036533	0,00037	0,010971	0	0
Nitrati	0,064943	0,006772	0,474065	0,209109	0,130513	0,00533	0,109266	0	0
Ossidabilità	0,098515	0,32049	0,10414	0,070798	0,15668	0,090386	0,158992	0	0
Solfati	0,522866	0,216013	0,174257	0,04077	0,00466	0,010315	0,031103	0	0
Alluminio	0,385872	0,203221	0,080881	0,240987	0,010952	0,049573	0,028511	0	0
Fluoruri	0,166046	0,045236	0,154133	0,127264	0,371917	0,079291	0,056108	0	0
Ferro	0,171185	0,048852	0,197943	0,002692	0,170099	0,405073	0,004154	0	0
Manganese	0,520617	0,22305	0,002876	0,102495	0,09122	0,008136	0,051604	0	0
Bario	0,628375	0,290939	0,017218	0,008197	0,013957	0,004708	0,036582	0	0
Rame	0,317999	0,07259	0,107747	0,384123	0,002408	0,097625	0,017501	0	0
Carbonio Org. Tot.	0,187666	0,144708	0,000928	0,320561	0,002008	0,326441	0,017686	0	0
Coliformi Fecali	0,620757	0,017868	0,049442	0,211658	0,091737	0,000563	0,007953	0	0
Enterococchi	0,503735	0,007617	0,254896	0,207696	0,023954	1,86E-05	0,002065	0	0
Anaerobi S.R.	0,45282	0,07681	0,074594	0,241264	0,034351	0,002828	0,117338	0	0
Colonie in Agar 37°C	0,068444	0,021791	0,872466	0,012306	0,000318	0,018314	0,006377	0	0
Colonie in Agar 22°C	0,038922	0,03337	0,56732	0,214254	0,091565	0,015985	0,038596	0	0
Aeromonas spp	0,389862	0,046841	0,000294	0,1973	0,361166	0,000546	0,003997	0	0
Alghe	0,114447	0,623237	0,005044	0,017705	0,162921	0,070978	0,005656	0	0
Attinomiceti	0,241478	0,033043	0,151318	0,214743	0,019332	0,051536	0,288532	0	0
Funghi	0,043624	0,493898	0,002282	0,000021	0,125906	0,2986	0,03565	0	0
Lieviti	0,152383	0,282521	0,022378	0,100534	0,043749	0,38932	0,009113	0	0
Stafilococchi patogeni	0,141506	0,000123	0,010366	0,014434	0,359256	0,001998	0,472317	0	0

Tabella 4.38: Matrice dei loading per il mese di Gennaio

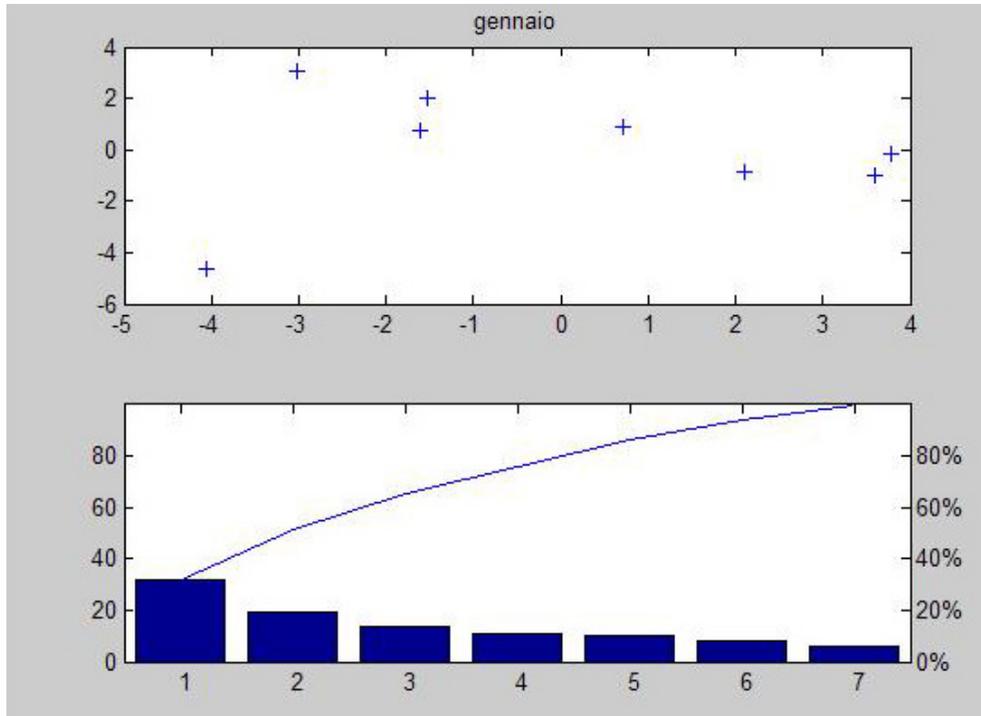


Figura 4.43: Plot e Pareto Matlab Gennaio(diagramma a dispersione e delle frequenze cumulate)

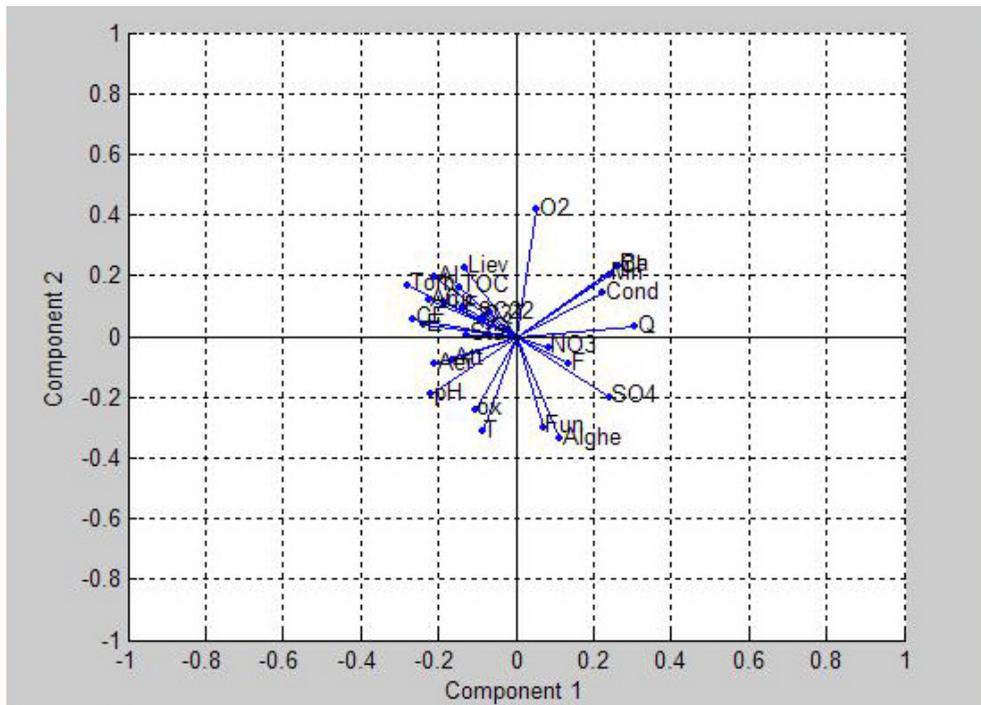


Figura 4.44: Biplot Matlab Gennaio (biplot CP)

Il biplot è un grafico estremamente informativo, nel quale la distanza dei punti sul piano è in ogni direzione proporzionale alla “similitudine” tra i parametri; in altre parole, i parametri simili giacciono vicini sul piano, mentre quelli molto diversi giacciono lontano.

Dall’analisi del biplot è possibile individuare le correlazioni tra i parametri, infatti, quei parametri che si trovano essenzialmente distribuiti parallelamente tra loro indicano l’esistenza di una correlazione e quindi la presenza di entrambi i parametri nella stessa componente principale.

Dalla Tabella 4.38 emerge che per il mese di gennaio sono sufficienti le prime cinque componenti principali a spiegare più dell’80% della variabilità dei dati riferiti al mese di gennaio per tutti e otto gli anni. Nelle prime cinque CP sono stati evidenziati per ciascun parametro i valori numerici maggiori, considerati a meno del segno.

La prima Componente Principale della tabella racchiude i primi quattro parametri, tra cui la torbidità e, a conferma di quanto detto nel paragrafo 4.2.2, anche alcuni metalli pesanti, quali alluminio, manganese e bario, oltre alla maggior parte dei parametri riguardanti la concentrazione dei microrganismi; il che è un’ulteriore dimostrazione che la crescita batterica è legata ad un aumento della torbidità. Bisogna tener presente, inoltre, che a gennaio 2002 è stato registrato il valore minimo della serie storica analizzata per quanto riguarda il livello dell’acqua nell’invaso (515,96 m s.l.m.).

Complessivamente nell’intero anno è stata valutata una portata media inferiore per più di 4 milioni di m³ di acqua rispetto al valore medio degli altri anni presi in esame. Un livello così basso del pelo libero dimostra che l’acqua addotta al potabilizzatore di masseria Romaniello in questo periodo veniva prelevata dalla terza presa (515,83 m s.l.m.) e pertanto abbastanza vicino al fondo, ciò spiega i valori elevati di alluminio, cromo, manganese, bario, nichel e cadmio citati all’inizio del capitolo.

Questa CP contiene anche cloruri e solfati che, come già citato durante l’analisi bivariata, risultano strettamente correlati alla conducibilità a 20°C, in quanto la presenza di sali prodotti dai solfati, anche se con una minore incidenza rispetto ai cloruri, influenza la conducibilità elettrica dell’acqua. Per quel che riguarda le colonie in Agar, sia a 22°C che a 37°C, sono entrambe nella terza CP insieme ai nitrati che costituiscono nutrimento per essi. Nella seconda CP sono presenti sia la temperatura, che l’ossigeno e anche l’ossidabilità, di cui risulta evidente la correlazione se si pensa che la solubilità dell’ossigeno è inversamente proporzionale alla temperatura. Di conseguenza, nella stessa componente si trovano anche alghe, lieviti e funghi, la cui dipendenza sia dall’ossigeno che dalla temperatura è ben nota.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
Portata	0,792331	0,053387	0,001716	0,097464	0,042799	0,009216	0,003097	0	0
Torbidità	0,749192	0,017721	0,082585	0,127356	0,001060	0,001967	0,020125	0	0
pH	0,784627	0,021365	0,118680	0,000457	0,015495	0,058612	0,000807	0	0
Conducibilità 20°	0,533605	0,264247	0,054566	0,040181	0,004220	0,019937	0,083256	0	0
Temperatura acqua	0,511961	0,215405	0,020878	0,128020	0,000384	0,110152	0,013214	0	0
Ossigeno disciolto	0,000058	0,100000	0,456512	0,091592	0,341042	0,006420	0,004379	0	0
Cloruri	0,714855	0,127185	0,108877	0,000005	0,000003	0,040474	0,008623	0	0
Nitrati	0,168640	0,596445	0,077153	0,006498	0,120964	0,003171	0,027139	0	0
Ossidabilità	0,632906	0,055646	0,001918	0,255431	0,005286	0,016070	0,032780	0	0
Solfati	0,762782	0,097090	0,000060	0,008368	0,012484	0,118829	0,000423	0	0
Alluminio	0,454752	0,023079	0,125464	0,002168	0,185920	0,119519	0,089105	0	0
Fluoruri	0,000002	0,292316	0,297749	0,009718	0,052642	0,347147	0,000400	0	0
Ferro	0,428349	0,258234	0,007853	0,257411	0,000013	0,046705	0,001462	0	0
Manganese	0,304404	0,046345	0,019730	0,539618	0,019055	0,060931	0,009934	0	0
Bario	0,389853	0,214642	0,022709	0,292864	0,031472	0,017010	0,031482	0	0
Rame	0,141416	0,034838	0,641852	0,027079	0,022963	0,118224	0,013623	0	0
Carbonio Org. Tot.	0,087427	0,760093	0,005935	0,019292	0,078584	0,026172	0,022518	0	0
Coliformi Fecali	0,570407	0,127000	0,082686	0,014723	0,042232	0,107487	0,055500	0	0
Enterococchi	0,894781	0,027318	0,031781	0,000330	0,002358	0,021192	0,022302	0	0
Anaerobi S.R.	0,147228	0,013822	0,256041	0,031594	0,319420	0,042266	0,189618	0	0
Colonie in Agar 37°C	0,367240	0,519436	0,051507	0,024755	0,012210	0,002282	0,022587	0	0
Colonie in Agar 22°C	0,391758	0,240125	0,329824	0,003630	0,002015	0,030316	0,002363	0	0
Aeromonas spp	0,434788	0,232734	0,076331	0,015850	0,192621	0,034618	0,013081	0	0
Alghie	0,047639	0,012639	0,529350	0,191103	0,212654	0,004890	0,001713	0	0
Attinomiceti	0,313126	0,142667	0,254975	0,005488	0,103630	0,108099	0,072003	0	0
Funghi	0,048500	0,482993	0,103693	0,040123	0,044860	0,018542	0,261278	0	0
Lieviti	0,008554	0,401729	0,025820	0,323328	0,056350	0,182268	0,001953	0	0
Stafilococchi patogeni	0,284886	0,158383	0,030323	0,013463	0,357551	0,153482	0,001931	0	0

Tabella 4.39: Matrice dei loading per il mese di Febbraio

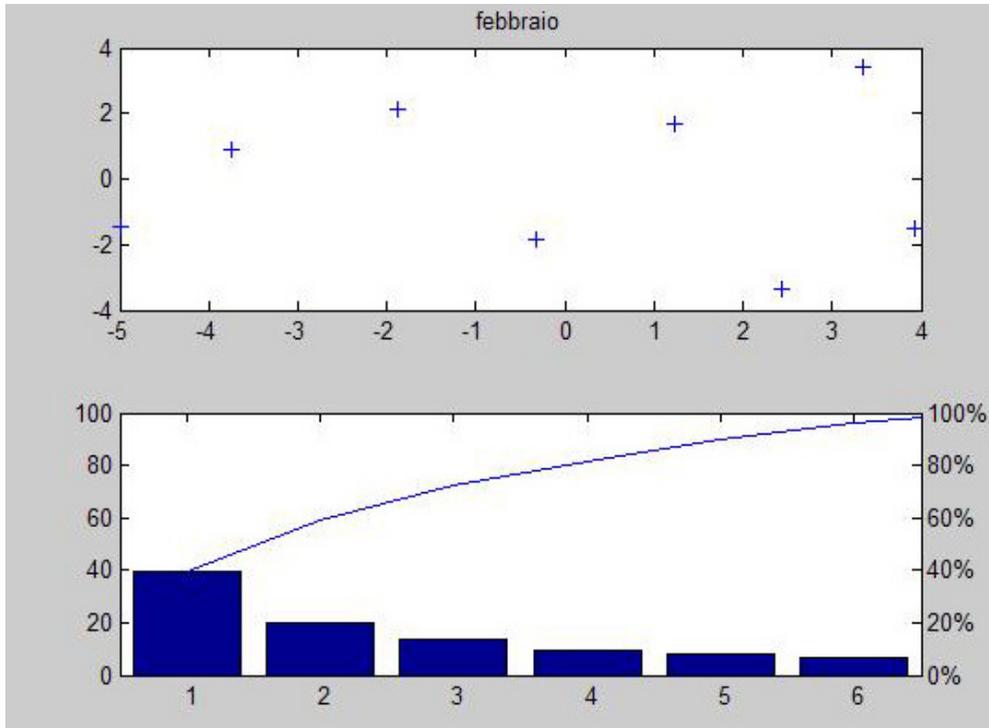


Figura 4.45: Plot e Pareto Matlab Febbraio (diagramma a dispersione e delle frequenze cumulate)

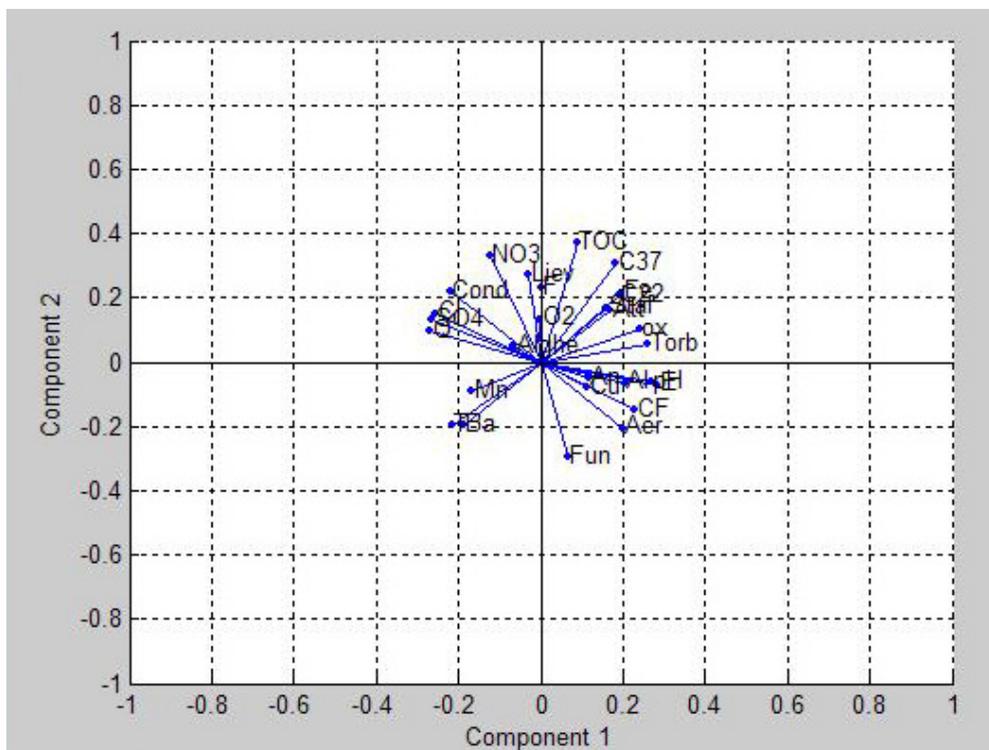


Figura 4.46: Biplot Matlab Febbraio (biplot CP)

Per quanto riguarda il mese di febbraio, la prima differenza da rilevare rispetto al mese precedente sta nella presenza di quattro CP anziché cinque. Infatti, la maggior parte dei parametri è inclusa nella prima CP, in cui viene confermato il legame tra la torbidità ed alcuni metalli pesanti e ai principali microrganismi. Il carbonio organico totale e i nitrati si trovano insieme a funghi, lieviti e colonie in agar a 37° nella seconda CP a dimostrazione del fatto che la concentrazione di nutrimento influenza la crescita microbica. La terza CP mette in evidenza la dipendenza dei batteri anaerobi con l'ossigeno disciolto, in quanto il loro metabolismo non richiede la presenza di ossigeno, anzi questa molecola può addirittura risultare tossica per tali organismi.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
Portata	0,665517	0,081257	0,191541	0,036798	0,017755	0,007156	0	0	0
Torbidità	0,344264	0,021062	0,125153	0,257246	0,133854	0,118418	0	0	0
pH	0,286254	0,002666	0,319237	0,183161	0,022136	0,186531	0	0	0
Conducibilità 20°	0,857117	0,008564	0,052995	0,029050	0,000489	0,051755	0	0	0
Temperatura acqua	0,548688	0,151569	0,234354	0,019474	0,014883	0,031024	0	0	0
Ossigeno disciolto	0,020827	0,172772	0,026037	0,542843	0,137554	0,099962	0	0	0
Cloruri	0,697401	0,224001	0,000000	0,014372	0,016589	0,047632	0	0	0
Nitrati	0,320200	0,392517	0,219994	0,011489	0,055804	0,000002	0	0	0
Ossidabilità	0,600904	0,041568	0,024664	0,045227	0,274708	0,012909	0	0	0
Solfati	0,854667	0,020429	0,086046	0,000121	0,013666	0,025056	0	0	0
Alluminio	0,565664	0,085001	0,001221	0,058062	0,289708	0,000331	0	0	0
Fluoruri	0,121670	0,355632	0,037639	0,003524	0,010698	0,470819	0	0	0
Ferro	0,307327	0,363734	0,139689	0,051089	0,118202	0,019933	0	0	0
Manganese	0,059541	0,113131	0,040820	0,533320	0,227877	0,025315	0	0	0
Bario	0,008094	0,586660	0,011568	0,320133	0,052973	0,020577	0	0	0
Rame	0,024748	0,416798	0,074300	0,082588	0,369141	0,032411	0	0	0
Carbonio Org. Tot.	0,036480	0,010403	0,739722	0,000034	0,185687	0,027677	0	0	0
Coliformi Fecali	0,274783	0,097670	0,570774	0,000030	0,027721	0,029043	0	0	0
Enterococchi	0,598714	0,016528	0,358052	0,000261	0,000605	0,025816	0	0	0
Anaerobi S.R.	0,113421	0,465008	0,255751	0,076962	0,079667	0,009163	0	0	0
Colonie in Agar 37°C	0,387479	0,553607	0,012091	0,033221	0,010992	0,002595	0	0	0
Colonie in Agar 22°C	0,158044	0,760576	0,070039	0,001142	0,000918	0,009289	0	0	0
Aeromonas spp	0,441526	0,363766	0,192788	0,000820	0,000815	0,000300	0	0	0
Alghe	0,306893	0,306550	0,012923	0,062460	0,188646	0,122506	0	0	0
Attinomiceti	0,267483	0,219145	0,319310	0,158435	0,031028	0,004580	0	0	0
Funghi	0,081239	0,166474	0,383189	0,014952	0,350611	0,003538	0	0	0
Lieviti	0,002013	0,744179	0,000053	0,181231	0,041828	0,030699	0	0	0
Stafilococchi patogeni	0,098865	0,114367	0,145319	0,262137	0,002448	0,376862	0	0	0

Tabella 4.40: Matrice dei loading per il mese di Marzo

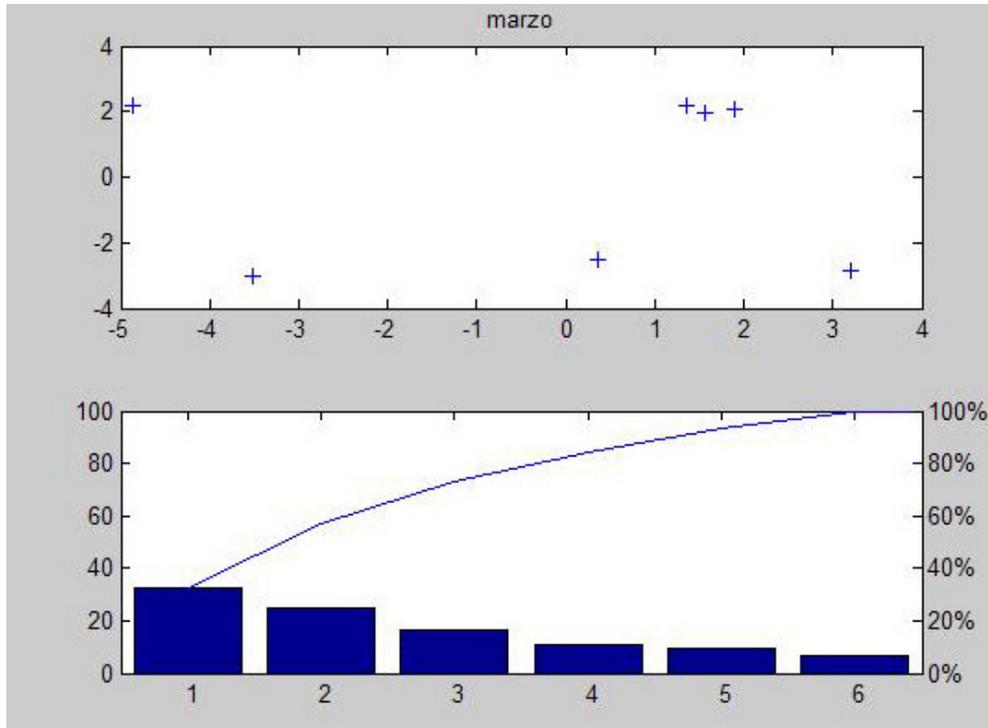


Figura 4.47: Plot e Pareto Matlab Marzo (diagramma a dispersione e delle frequenze cumulate)

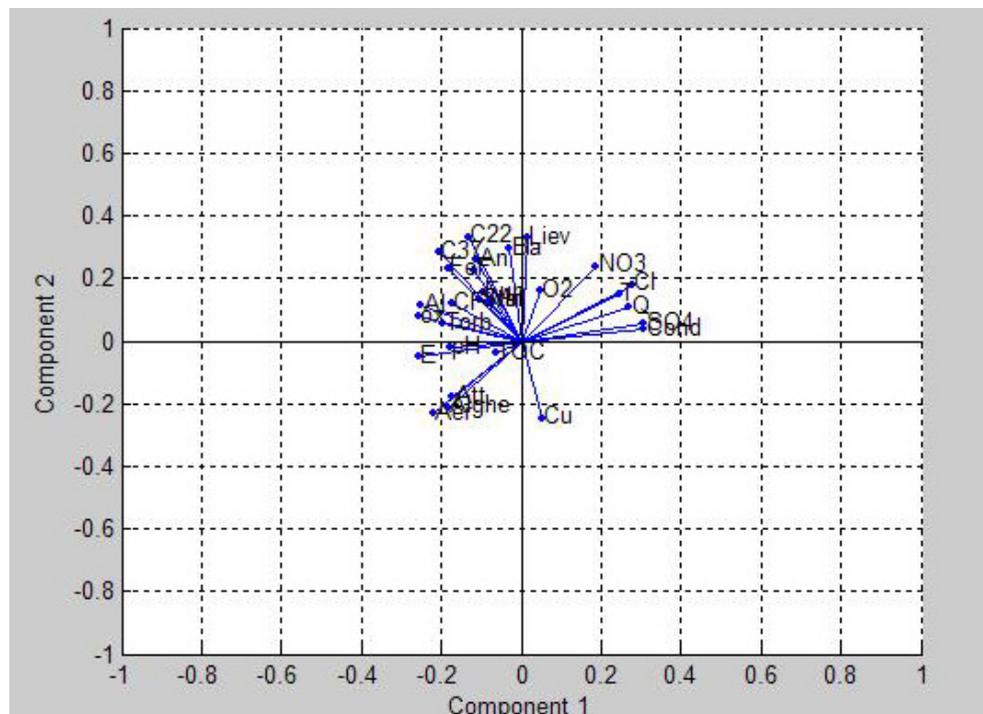


Figura 4.48: Biplot Matlab Marzo (biplot CP)

Nel mese di marzo è importante rilevare che la terza CP include sia i funghi che gli attinomiceti, due tipi di microrganismi la cui concentrazione è strettamente legata l'una all'altra, come mostra anche il seguente grafico in cui sono stati sovrapposti gli andamenti dei due parametri (in blu gli attinomiceti e in fucsia i funghi) ed è possibile notare come essi varino contemporaneamente. È importante anche sottolineare la presenza in questa CP del pH, in quanto è noto che il pH rappresenta un fattore limitante per la maggior parte dei batteri, tra cui anche gli attinomiceti, per i quali il pH critico è intorno a 5. Anche in questo mese viene confermata la correlazione di molti microrganismi con i nitrati (CP2) e della torbidità con l'alluminio.

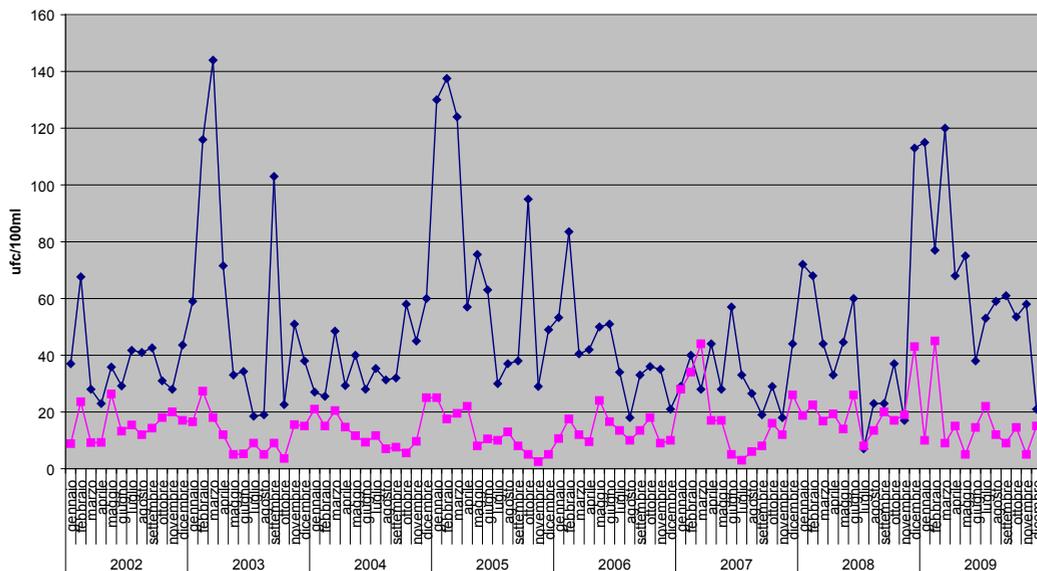


Figura 4.49: Sovrapposizione Andamento Attinomiceti e Funghi

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
Portata	0,804616	0,000253	0,015274	0,082614	0,019974	0,065393	0,011888	0	0
Torbidità	0,636601	0,130914	0,002753	0,227799	0,000975	0,000019	0,000952	0	0
pH	0,199475	0,155566	0,501135	0,013877	0,126417	0,002797	0,000749	0	0
Conducibilità 20°	0,368544	0,199956	0,008767	0,000426	0,419234	0,001631	0,001442	0	0
Temperatura acqua	0,115915	0,439551	0,043212	0,160220	0,164834	0,004553	0,071725	0	0
Ossigeno disciolto	0,519907	0,040701	0,048355	0,095395	0,000146	0,295295	0,000186	0	0
Cloruri	0,825782	0,105031	0,008978	0,036715	0,000137	0,004360	0,019009	0	0
Nitrati	0,413467	0,153454	0,158387	0,066928	0,199717	0,008009	0,000050	0	0
Ossidabilità	0,092555	0,347732	0,020170	0,010068	0,001328	0,526674	0,001464	0	0
Solfati	0,670331	0,008813	0,113199	0,064681	0,076201	0,028053	0,038722	0	0
Alluminio	0,852534	0,000128	0,059280	0,061728	0,011641	0,013209	0,001506	0	0
Fluoruri	0,108880	0,172839	0,007584	0,213449	0,477488	0,009161	0,010595	0	0
Ferro	0,005498	0,766693	0,131600	0,000775	0,013260	0,072021	0,010155	0	0
Manganese	0,771322	0,074239	0,147325	0,001192	0,005021	0,000742	0,000134	0	0
Bario	0,000138	0,463270	0,234576	0,244143	0,025313	0,002087	0,030464	0	0
Rame	0,082382	0,702747	0,094378	0,001092	0,037522	0,042324	0,039553	0	0
Carbonio Org. Tot.	0,177359	0,067288	0,734126	0,004805	0,004635	0,000090	0,011692	0	0
Coliformi Fecali	0,670879	0,016001	0,094630	0,161280	0,007505	0,000486	0,049197	0	0
Enterococchi	0,721619	0,000036	0,014672	0,247100	0,001188	0,000120	0,015256	0	0
Anaerobi S.R.	0,213814	0,008665	0,530445	0,113643	0,119782	0,002885	0,010773	0	0
Colonie in Agar 37°C	0,884618	0,026708	0,037746	0,005707	0,026481	0,005643	0,013085	0	0
Colonie in Agar 22°C	0,819586	0,000015	0,106011	0,005816	0,030963	0,034669	0,002972	0	0
Aeromonas spp	0,000314	0,019356	0,049978	0,777917	0,072523	0,000557	0,079352	0	0
Alghe	0,208276	0,369952	0,263441	0,032256	0,079293	0,041284	0,005482	0	0
Attinomiceti	0,372458	0,007115	0,000003	0,376579	0,101359	0,105086	0,037427	0	0
Funghi	0,071987	0,139649	0,655580	0,013304	0,088528	0,005621	0,025326	0	0
Lieviti	0,294462	0,089153	0,070347	0,239999	0,000155	0,304924	0,000973	0	0
Stafilococchi patogeni	0,312691	0,039515	0,029265	0,306401	0,134481	0,143107	0,034561	0	0

Tabella 4.41: Matrice dei loading per il mese di Aprile

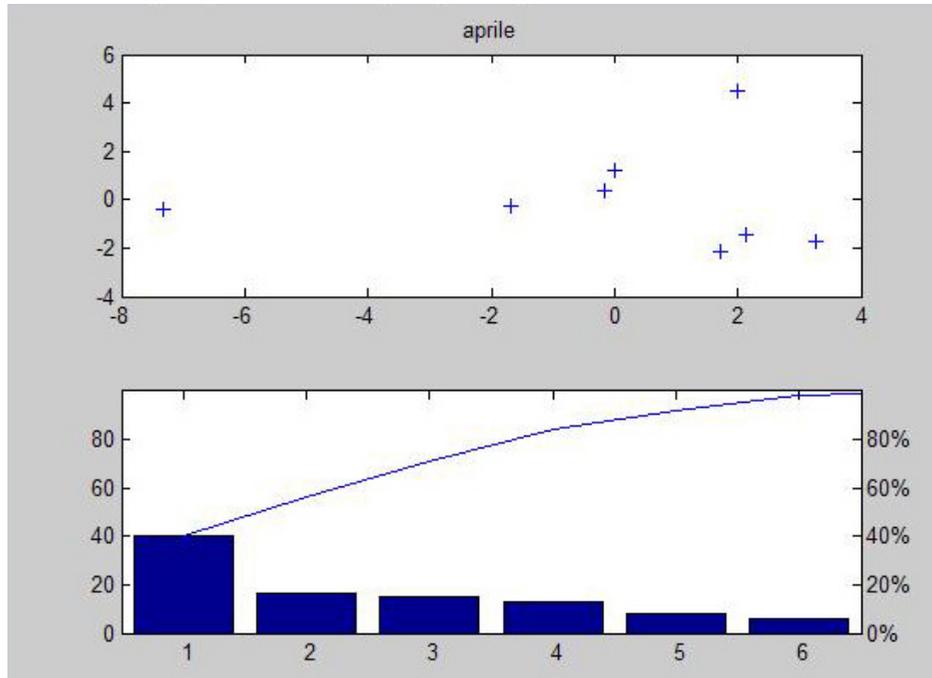


Figura 4.50: Plot e Pareto Matlab Aprile (diagramma a dispersione e delle frequenze cumulate)

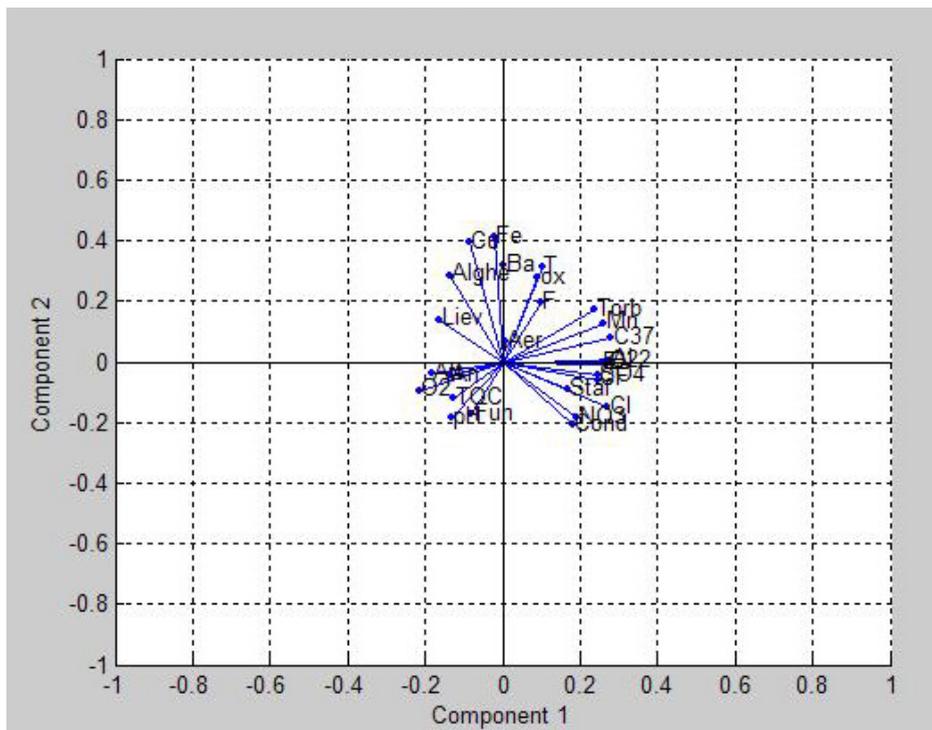


Figura 4.51: Biplot Matlab Aprile (biplot CP)

Nella tabella 4.42 si nota ancora una volta il legame tra torbidità e alluminio e la maggior parte dei batteri, infatti essi anche nel mese di aprile si raggruppano nella stessa componente (CP1). Anche conducibilità, solfati e nitrati, essendo ben correlati tra loro, si trovano nella CP1. Nella seconda componente si trovano,

invece, la maggior parte dei metalli, le alghe, l'ossidabilità e la temperatura. L'ossidabilità è una misura convenzionale della contaminazione dovuta a materiale organico e a sostanze inorganiche ossidabili presenti nel campione di acqua. Essa è un indice convenzionale che misura le proprietà riducenti dell'acqua ed è utilizzabile per valutare la qualità dell'acqua: nella generalità dei casi, la qualità dell'acqua migliora all'abbassarsi di tale indice. Un valore di ossidabilità alto può favorire fenomeni di crescita batterica nella rete idrica ed associarsi ad altri aspetti indesiderabili in un'acqua potabile quali odori, sapori, colori, torbidità. Viene così spiegata anche la presenza nella medesima componente di coliformi fecali, enterococchi e colonie in agar.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
Portata	0,971647	0,011522	0,003918	0,002807	0,002127	0,000025	0,007958	0	0
Torbidità	0,195504	0,738303	0,006330	0,012599	0,012657	0,009666	0,024950	0	0
pH	0,020594	0,166895	0,213939	0,205298	0,119131	0,222488	0,051669	0	0
Conducibilità 20°	0,373433	0,148661	0,049777	0,213948	0,143912	0,069174	0,001091	0	0
Temperatura acqua	0,116677	0,690241	0,035856	0,134308	0,000125	0,006273	0,016521	0	0
Ossigeno disciolto	0,337244	0,221359	0,089237	0,032195	0,204754	0,037449	0,077760	0	0
Cloruri	0,807530	0,001316	0,102657	0,010523	0,049261	0,000804	0,027900	0	0
Nitrati	0,527752	0,002834	0,063141	0,004069	0,311801	0,019947	0,070459	0	0
Ossidabilità	0,013528	0,242887	0,102207	0,006355	0,005760	0,574314	0,054952	0	0
Solfati	0,735246	0,000032	0,009138	0,027870	0,190384	0,026806	0,010506	0	0
Alluminio	0,317631	0,321853	0,104856	0,014184	0,048841	0,051788	0,140838	0	0
Fluoruri	0,279806	0,001436	0,378392	0,234826	0,000771	0,098252	0,006526	0	0
Ferro	0,135321	0,014432	0,645341	0,046227	0,105547	0,034201	0,018919	0	0
Manganese	0,020313	0,485280	0,098993	0,247645	0,001922	0,086984	0,058881	0	0
Bario	0,344750	0,185209	0,053423	0,294351	0,029816	0,055228	0,037229	0	0
Rame	0,209801	0,011759	0,006482	0,387671	0,065071	0,209776	0,109444	0	0
Carbonio Org. Tot.	0,284997	0,201953	0,005379	0,038022	0,417722	0,024839	0,027085	0	0
Coliformi Fecali	0,272720	0,169999	0,173365	0,241044	0,000008	0,000147	0,142714	0	0
Enterococchi	0,196845	0,686817	0,064668	0,002483	0,024493	0,004354	0,020334	0	0
Anaerobi S.R.	0,274632	0,013918	0,530290	0,021090	0,016011	0,000028	0,144033	0	0
Colonie in Agar 37°C	0,246444	0,302806	0,106173	0,100554	0,007514	0,160440	0,076094	0	0
Colonie in Agar 22°C	0,158083	0,033513	0,335891	0,160472	0,136389	0,170007	0,005641	0	0
Aeromonas spp	0,109191	0,707486	0,154383	0,007452	0,010453	0,010297	0,000743	0	0
Alghe	0,474665	0,245314	0,009572	0,106226	0,160117	0,002792	0,001331	0	0
Attinomiceti	0,271081	0,113099	0,110695	0,383290	0,046527	0,074283	0,001011	0	0
Funghi	0,386249	0,008961	0,373396	0,006856	0,090368	0,043851	0,090331	0	0
Lieviti	0,011036	0,031087	0,257914	0,627108	0,029799	0,042638	0,000416	0	0
Stafilococchi patogeni	0,066896	0,272162	0,192466	0,029116	0,361821	0,008560	0,068964	0	0

Tabella 4.42: Matrice dei loading per il mese di Maggio

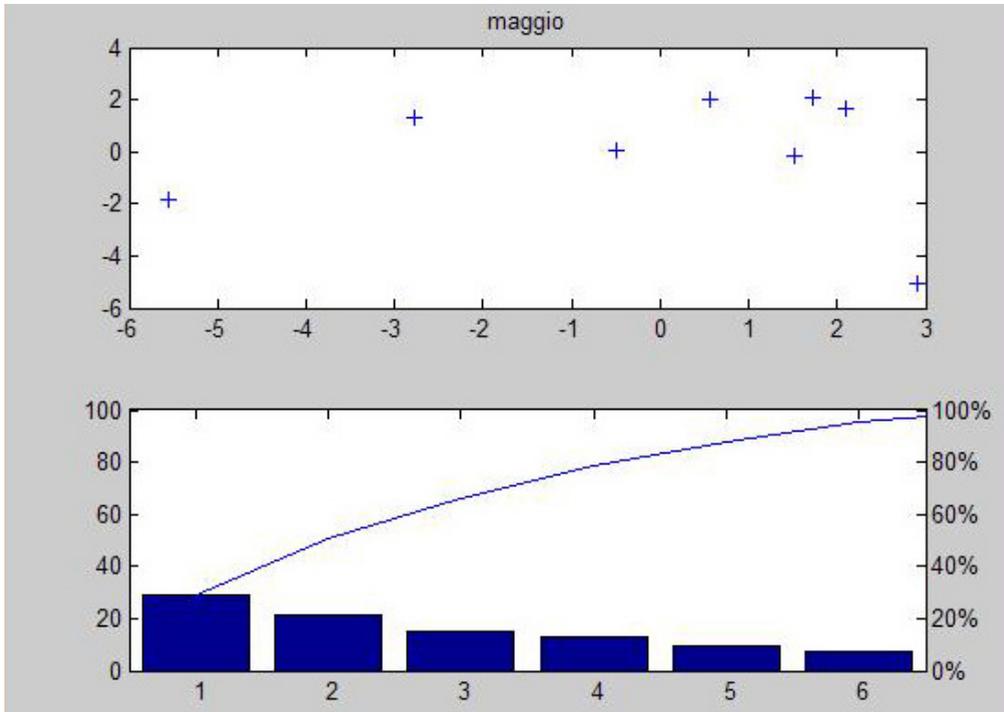


Figura 4.52: Plot e Pareto Matlab Maggio (diagramma a dispersione e delle frequenze cumulate)

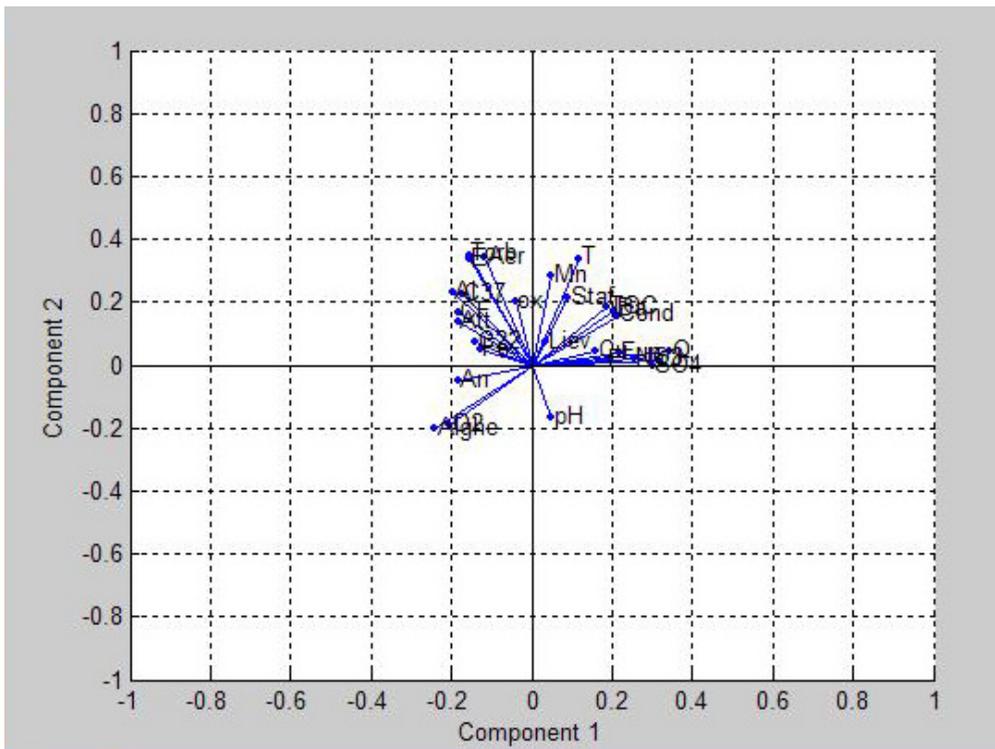


Figura 4.53: Biplot Matlab Maggio (biplot CP)

Dall'analisi della matrice dei loading per il mese di maggio, la quasi totalità della varianza è spiegata dalle prime cinque CP, come per il mese di gennaio. In particolare, la CP2 riunisce la torbidità, alcuni metalli

e microrganismi che in precedenza si trovavano nella prima componente principale. Nella stessa CP sono anche presenti temperatura, colonie in agar a 37°C e aeromonas, tre parametri strettamente legati, in quanto il calore è un elemento fondamentale per la crescita di questi due batteri entrambi mesofili, in quanto essa deve rimanere compresa tra i 25-40°C per consentirne una buona proliferazione. Nella prima CP si ritrova, come in un caso precedentemente illustrato, la conducibilità insieme a cloruri, nitrati e solfati.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
Portata	0,952753	0,013864	0,002757	0,018575	0,007678	0,002415	0,001964	0	0
Torbidità	0,322741	0,000021	0,041281	0,555578	0,018045	0,062317	0,000002	0	0
pH	0,123035	0,017803	0,806667	0,002021	0,049368	0,000031	0,001081	0	0
Conducibilità 20°	0,530785	0,000019	0,083299	0,290722	0,024892	0,004453	0,065843	0	0
Temperatura acqua	0,716221	0,053735	0,047930	0,070170	0,102184	0,003586	0,006197	0	0
Ossigeno disciolto	0,045814	0,364021	0,008353	0,131645	0,394890	0,043599	0,011674	0	0
Cloruri	0,792255	0,027115	0,039544	0,087157	0,016150	0,030391	0,007377	0	0
Nitrati	0,333697	0,049401	0,014049	0,367570	0,012617	0,124903	0,097770	0	0
Ossidabilità	0,170404	0,000215	0,487649	0,002724	0,208226	0,069585	0,061208	0	0
Solfati	0,744617	0,076037	0,167775	0,006114	0,002064	0,001209	0,002171	0	0
Alluminio	0,031254	0,440879	0,015238	0,221760	0,208722	0,079556	0,002592	0	0
Fluoruri	0,344339	0,436043	0,089756	0,027682	0,078482	0,002292	0,021395	0	0
Ferro	0,152464	0,379058	0,044355	0,024468	0,185975	0,148760	0,064915	0	0
Manganese	0,088321	0,011053	0,423932	0,120140	0,304339	0,006215	0,046001	0	0
Bario	0,083671	0,780183	0,011974	0,012060	0,054055	0,021541	0,036501	0	0
Rame	0,119955	0,448840	0,007029	0,100822	0,145538	0,103474	0,074334	0	0
Carbonio Org. Tot.	0,254147	0,094894	0,238694	0,134031	0,036891	0,196357	0,044965	0	0
Coliformi Fecali	0,196303	0,290973	0,132850	0,102579	0,204895	0,011259	0,061125	0	0
Enterococchi	0,327572	0,025401	0,457763	0,046092	0,005066	0,009827	0,128282	0	0
Anaerobi S.R.	0,787575	0,017827	0,060563	0,046650	0,071476	0,005948	0,009967	0	0
Colonie in Agar 37°C	0,761952	0,119807	0,000502	0,018746	0,001234	0,018790	0,078989	0	0
Colonie in Agar 22°C	0,317843	0,286796	0,053625	0,060025	0,185386	0,087517	0,008812	0	0
Aeromonas spp	0,037450	0,023516	0,069219	0,771525	0,008451	0,089349	0,000482	0	0
Alghe	0,254482	0,008169	0,336063	0,068728	0,220892	0,001400	0,110260	0	0
Attinomiceti	0,026323	0,610903	0,000033	0,000784	0,005972	0,133395	0,222564	0	0
Funghi	0,033526	0,443899	0,170431	0,024883	0,008968	0,314698	0,003599	0	0
Lieviti	0,318696	0,233299	0,000385	0,054772	0,217151	0,132130	0,043579	0	0
Stafilococchi patogeni	0,289533	0,224719	0,114387	0,051498	0,293812	0,000000	0,026058	0	0

Tabella 4.43: Matrice dei loading per il mese di Giugno

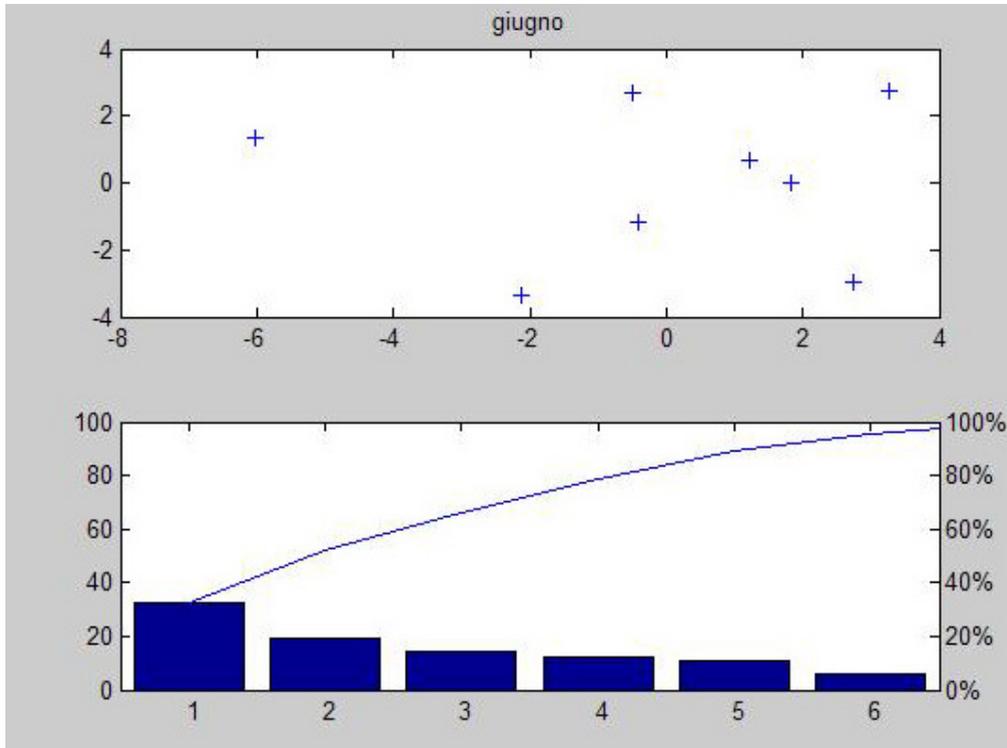


Figura 4.54: Plot e Pareto Matlab Giugno (diagramma a dispersione e delle frequenze cumulate)

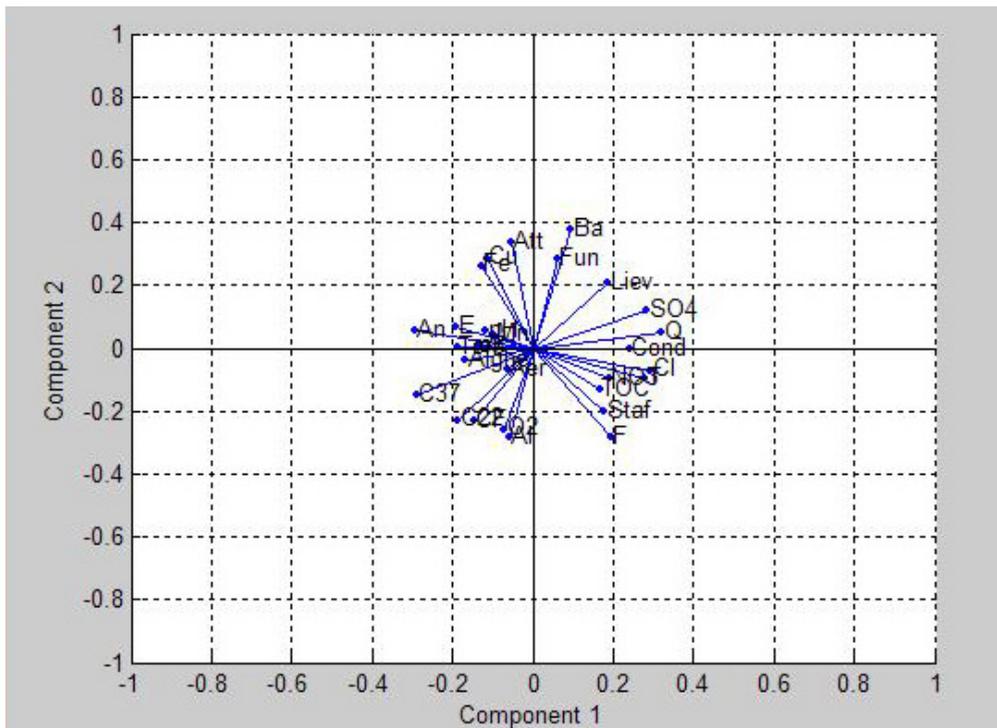


Figura 4.55: Biplot Matlab Giugno (biplot CP)

Nella CP1 sono evidenziati, ancora una volta, conducibilità, cloruri e solfati, e poi la temperatura con le colonie in agar e i batteri anaerobi. Come nel mese di marzo, si ritrovano accoppiati attinomiceti

e funghi, in unione con i metalli pesanti e i coliformi fecali. Nella quarta CP la torbidità è correlata, diversamente dal solito, solamente con i nitrati e gli aeromonas; responsabili di processi di eutrofizzazione e/o di eccessiva crescita batteriologica.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
Portata	0,200400	0,639542	0,099826	0,000276	0,047055	0,003524	0,009374	0	0
Torbidità	0,000120	0,072427	0,563373	0,001473	0,244035	0,017929	0,100638	0	0
pH	0,596774	0,261221	0,002291	0,117081	0,018246	0,000058	0,004315	0	0
Conducibilità 20°	0,175925	0,401127	0,077074	0,019950	0,227476	0,090800	0,007651	0	0
Temperatura acqua	0,270959	0,064397	0,244207	0,119096	0,036578	0,177893	0,086872	0	0
Ossigeno disciolto	0,301444	0,235131	0,026286	0,354855	0,000684	0,048918	0,032680	0	0
Cloruri	0,043336	0,173092	0,369178	0,018598	0,041848	0,327618	0,026320	0	0
Nitrati	0,104636	0,032491	0,324116	0,260390	0,027237	0,251027	0,000121	0	0
Ossidabilità	0,258028	0,022028	0,012219	0,226082	0,215638	0,092316	0,173674	0	0
Solfati	0,327920	0,517084	0,101623	0,021552	0,005752	0,002486	0,023562	0	0
Alluminio	0,000920	0,005071	0,092295	0,252418	0,367552	0,177705	0,104054	0	0
Fluoruri	0,097913	0,191060	0,340868	0,044263	0,262229	0,038581	0,025071	0	0
Ferro	0,000037	0,001537	0,589230	0,109990	0,111079	0,002389	0,185733	0	0
Manganese	0,299002	0,054533	0,294237	0,129156	0,124027	0,098365	0,000674	0	0
Bario	0,364524	0,065369	0,171579	0,347524	0,013843	0,008532	0,028629	0	0
Rame	0,632837	0,022746	0,062079	0,014090	0,030621	0,228846	0,008766	0	0
Carbonio Org. Tot.	0,549954	0,092704	0,097759	0,027092	0,133695	0,000046	0,098751	0	0
Coliformi Fecali	0,290310	0,127529	0,197827	0,241204	0,000677	0,106979	0,035488	0	0
Enterococchi	0,828422	0,024051	0,017183	0,014313	0,023556	0,012189	0,080296	0	0
Anaerobi S.R.	0,071834	0,385315	0,055892	0,361803	0,109642	0,015509	0,000004	0	0
Colonie in Agar 37°C	0,093522	0,427623	0,227602	0,022935	0,034630	0,173099	0,020575	0	0
Colonie in Agar 22°C	0,020348	0,924729	0,005170	0,000391	0,000027	0,000694	0,048619	0	0
Aeromonas spp	0,080482	0,000005	0,244638	0,445064	0,229493	0,000204	0,000132	0	0
Algh	0,246177	0,072476	0,139644	0,393237	0,097532	0,050898	0,000014	0	0
Attinomiceti	0,919118	0,046978	0,002302	0,024162	0,003061	0,000215	0,004150	0	0
Funghi	0,317357	0,013967	0,012196	0,286296	0,001701	0,213718	0,154771	0	0
Lieviti	0,440431	0,121501	0,154730	0,178695	0,079099	0,004956	0,020591	0	0
Stafilococchi patogeni	0,035811	0,165484	0,217960	0,001214	0,456775	0,051400	0,071376	0	0

Tabella 4.44: Matrice dei loading per il mese di Luglio

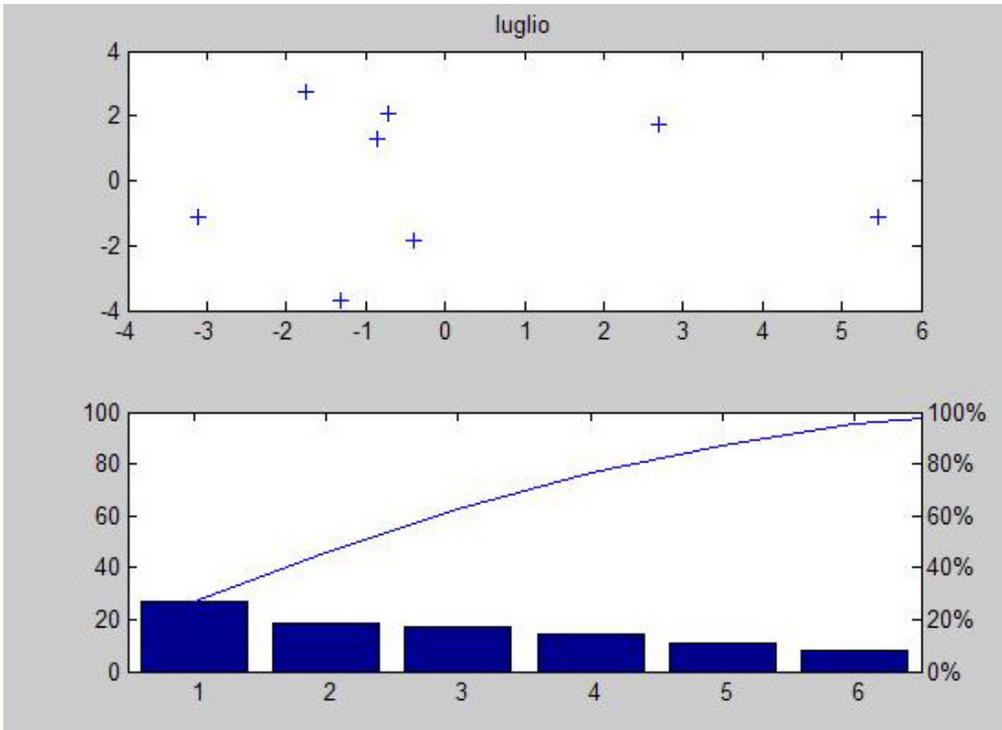


Figura 4.56: Plot e Pareto Matlab Luglio (diagramma a dispersione e delle frequenze cumulate)

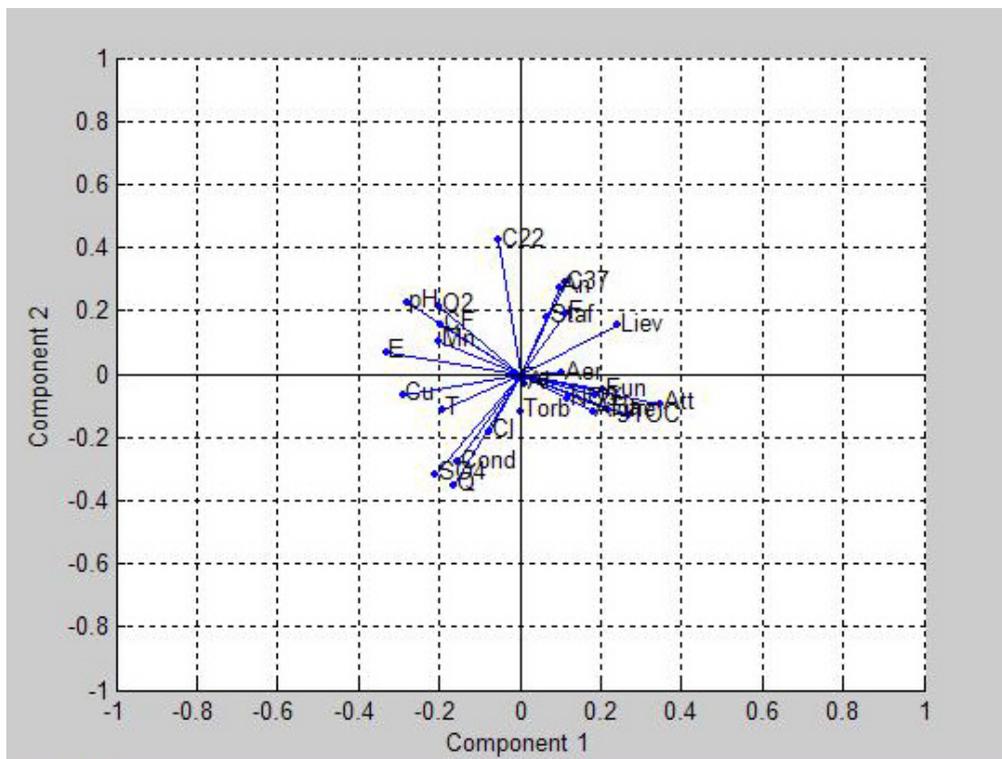


Figura 4.57: Biplot Matlab Luglio (biplot CP)

Nella prima CP si raggruppano attinomiceti, funghi e lieviti, enterococchi e coliformi fecali, oltre alla maggioranza dei metalli pesanti. Nella seconda Componente Principale si ritrova la coppia conducibilità-solfati, insieme alle colonie in agar e agli anaerobi. Passando ad analizzare l'andamento dei dati relativi al pH dell'acqua da potabilizzare, si nota la stretta correlazione tra questa grandezza e la temperatura dell'acqua, entrambi presenti nella prima CP. Infatti, il pH tende a diminuire con l'aumento della temperatura, pertanto nei mesi estivi si hanno valori di pH inferiori a 8.1, mentre già a partire da settembre i valori del pH risultano superiori alla media generale calcolata dal 2002 al 2009.

Nella terza CP si possono notare fluoruri e ferro, come anche nelle tabelle relative ai mesi di marzo, maggio e giugno, ciò si spiega attraverso l'esistenza di un sale solubile in acqua, il fluoruro ferrico (FeF_3), ottenuto ad esempio per reazione del ferro con l'acido fluoridrico.

Infine, in un'altra CP insieme agli aeromonas sono inclusi anche alghe e ossigeno disciolto, parametri entrambi molto significativi in un mese estivo, in quanto una buona presenza di ossigeno consente la crescita algale. A luglio 2009 è stato registrato un valore molto elevato per le alghe, circa 24000 N°/ml, dipendente anche dalla concentrazione di ossigeno disciolto in acqua.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
Portata	0,342350	0,105090	0,107982	0,120130	0,054871	0,217386	0,052213	0	0
Torbidità	0,044093	0,640633	0,147465	0,103044	0,000330	0,049941	0,014477	0	0
pH	0,008790	0,729580	0,051959	0,001221	0,005687	0,002948	0,199832	0	0
Conducibilità 20°	0,219175	0,318288	0,230118	0,096915	0,000123	0,023302	0,112078	0	0
Temperatura acqua	0,740652	0,009984	0,006708	0,008926	0,124372	0,103493	0,005877	0	0
Ossigeno disciolto	0,582714	0,039511	0,247522	0,018145	0,020839	0,021107	0,070164	0	0
Cloruri	0,565135	0,043885	0,196214	0,059264	0,130315	0,000002	0,005203	0	0
Nitrati	0,000241	0,205850	0,006900	0,349591	0,046468	0,293309	0,097648	0	0
Ossidabilità	0,326351	0,099424	0,359929	0,008599	0,096153	0,014301	0,095244	0	0
Solfati	0,391381	0,092559	0,220725	0,069236	0,016315	0,149498	0,060298	0	0
Alluminio	0,322071	0,070239	0,366993	0,151940	0,050257	0,009582	0,028930	0	0
Fluoruri	0,210916	0,460466	0,238233	0,063854	0,010956	0,000804	0,014779	0	0
Ferro	0,146793	0,129109	0,077792	0,597873	0,019798	0,000113	0,028506	0	0
Manganese	0,187656	0,008183	0,123949	0,012247	0,625295	0,005403	0,037263	0	0
Bario	0,179188	0,292610	0,000089	0,466794	0,008150	0,005591	0,047581	0	0
Rame	0,841265	0,006061	0,005031	0,030756	0,097776	0,008252	0,010842	0	0
Carbonio Org. Tot.	0,143989	0,101259	0,016029	0,467178	0,226061	0,000689	0,044811	0	0
Coliformi Fecali	0,017609	0,388590	0,019476	0,149252	0,339484	0,048917	0,036682	0	0
Enterococchi	0,459320	0,009410	0,231444	0,271534	0,002898	0,017493	0,007897	0	0
Anaerobi S.R.	0,434345	0,161339	0,034408	0,007529	0,313487	0,007607	0,041298	0	0
Colonie in Agar 37°C	0,453102	0,262690	0,146992	0,000946	0,130057	0,001927	0,004311	0	0
Colonie in Agar 22°C	0,121144	0,467777	0,369440	0,009666	0,022575	0,000000	0,009384	0	0
Aeromonas spp	0,021362	0,634416	0,110579	0,050543	0,153722	0,000006	0,029398	0	0
Alghe	0,019912	0,000041	0,687715	0,132410	0,047123	0,046676	0,066093	0	0
Attinomiceti	0,093707	0,176454	0,152297	0,332586	0,002990	0,235404	0,006555	0	0
Funghi	0,012959	0,122104	0,240018	0,077288	0,220860	0,240743	0,086032	0	0
Lieviti	0,232242	0,500878	0,003216	0,239030	0,013133	0,006866	0,004630	0	0
Stafilococchi patogeni	0,298858	0,152521	0,106938	0,114073	0,120510	0,006839	0,200279	0	0

Tabella 4.45: Matrice dei loading per il mese di Agosto

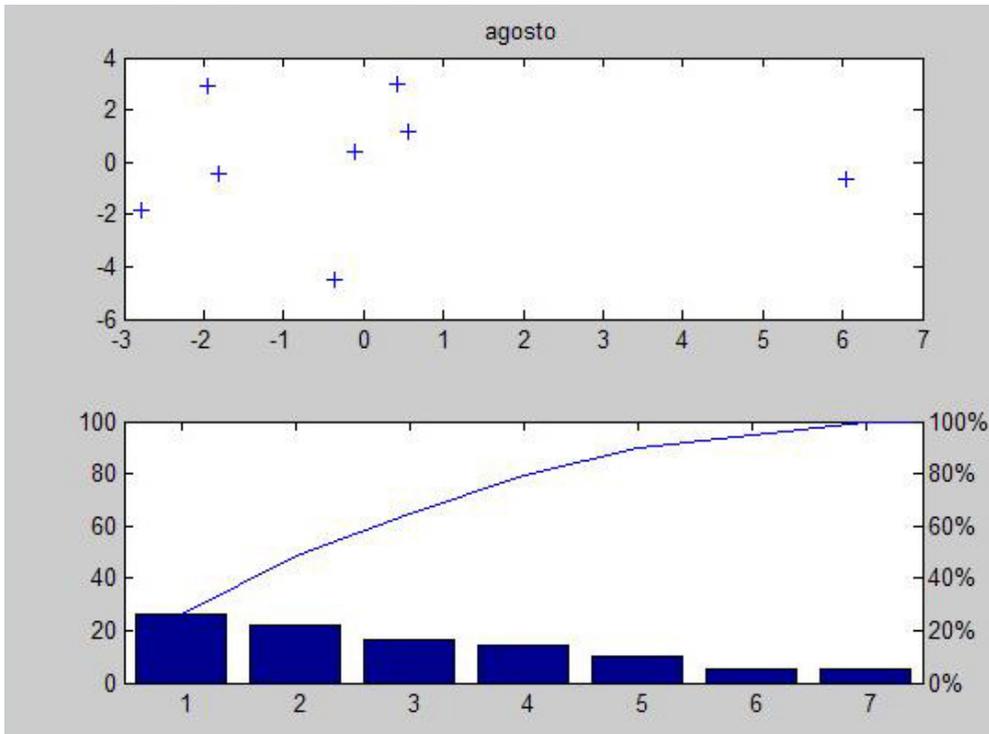


Figura 4.58: Plot e Pareto Matlab Agosto (diagramma a dispersione e delle frequenze cumulate)

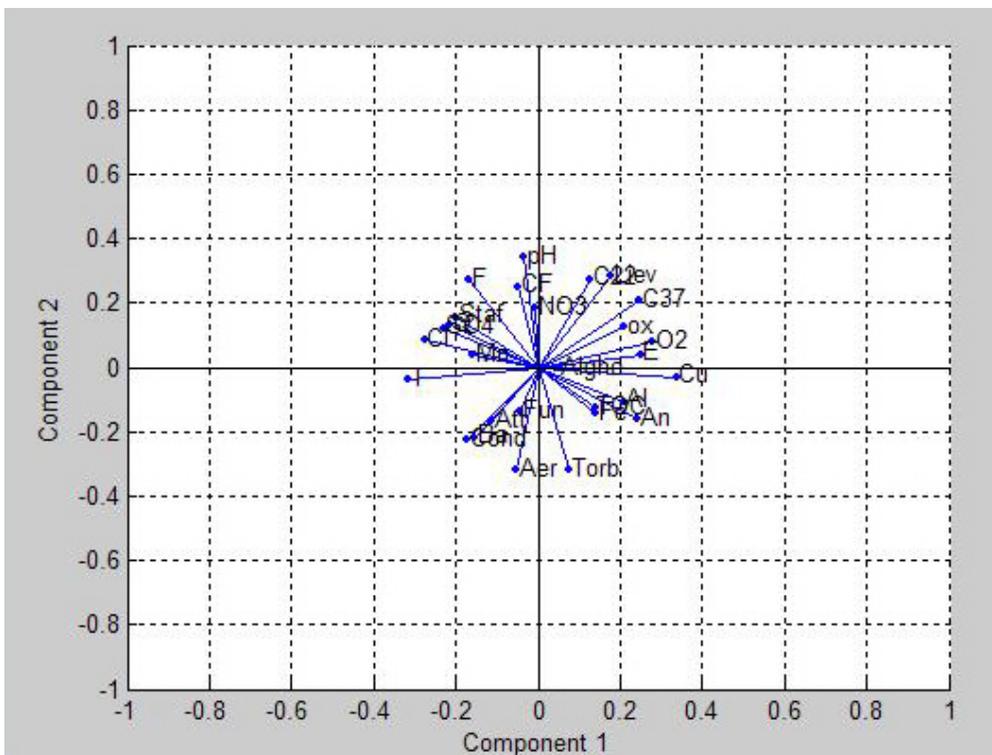


Figura 4.59: Biplot Matlab Agosto (biplot CP)

Sia a luglio che ad agosto, essendo i mesi più caldi dell'anno, con l'aumento di temperatura si è registrata una notevole presenza di alghe nell'acqua da potabilizzare. Le alghe e l'ossidabilità sono raggruppate nelle CP3, poiché l'ossidabilità indica la contaminazione organica che in questo caso è legata alla presenza di alghe nell'acqua. Nella quinta CP è presente solo il manganese, che in questo mese risulta non essere particolarmente collegato a nessuno degli altri parametri analizzati.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
Portata	0,359520	0,001612	0,218315	0,166945	0,238271	0,013787	0,001534	0	0
Torbidità	0,279359	0,075195	0,299204	0,057193	0,172966	0,110292	0,005794	0	0
pH	0,130136	0,596723	0,001877	0,021764	0,032392	0,214883	0,002238	0	0
Conducibilità 20°	0,785848	0,000064	0,056426	0,115757	0,039921	0,000997	0,000984	0	0
Temperatura acqua	0,658141	0,013215	0,064395	0,097475	0,031159	0,124878	0,010757	0	0
Ossigeno disciolto	0,012486	0,218448	0,378756	0,150775	0,094066	0,085468	0,059992	0	0
Cloruri	0,250956	0,027930	0,251691	0,161413	0,089561	0,012056	0,206386	0	0
Nitrati	0,693223	0,030889	0,203552	0,007469	0,000182	0,055859	0,008813	0	0
Ossidabilità	0,101529	0,129071	0,041640	0,581909	0,140751	0,002496	0,002597	0	0
Solfati	0,137422	0,102008	0,455922	0,003898	0,298420	0,001924	0,000399	0	0
Alluminio	0,532812	0,060959	0,073236	0,064606	0,171750	0,028243	0,068402	0	0
Fluoruri	0,137422	0,288467	0,047421	0,117040	0,000245	0,155432	0,253971	0	0
Ferro	0,000014	0,717599	0,004075	0,012000	0,208001	0,054918	0,003394	0	0
Manganese	0,734018	0,055524	0,140155	0,003378	0,033793	0,031380	0,001741	0	0
Bario	0,433929	0,017451	0,411175	0,006387	0,028944	0,076066	0,026069	0	0
Rame	0,000536	0,668151	0,038163	0,240227	0,012088	0,030634	0,010214	0	0
Carbonio Org. Tot.	0,840664	0,090481	0,002796	0,003283	0,007644	0,039805	0,015319	0	0
Coliformi Fecali	0,224933	0,346913	0,199300	0,192422	0,003566	0,030651	0,002223	0	0
Enterococchi	0,152920	0,030237	0,529978	0,008099	0,007469	0,129128	0,142187	0	0
Anaerobi S.R.	0,081908	0,488146	0,239694	0,000705	0,113212	0,012925	0,063428	0	0
Colonie in Agar 37°C	0,800958	0,048220	0,067153	0,046235	0,002203	0,035117	0,000131	0	0
Colonie in Agar 22°C	0,919191	0,014690	0,056141	0,004383	0,000337	0,000063	0,005165	0	0
Aeromonas spp	0,091553	0,144211	0,231042	0,481194	0,024215	0,014554	0,013220	0	0
Alghe	0,001015	0,206665	0,000167	0,347486	0,441178	0,001451	0,002033	0	0
Attinomiceti	0,017015	0,817814	0,021684	0,020513	0,034310	0,001888	0,086764	0	0
Funghi	0,402315	0,030013	0,000000	0,386456	0,065028	0,017621	0,098548	0	0
Lieviti	0,260572	0,018486	0,245994	0,120357	0,127702	0,145484	0,081418	0	0
Stafilococchi patogeni	0,071132	0,709522	0,000041	0,117117	0,009624	0,005803	0,086770	0	0

Tabella 4.46: Matrice dei loading per il mese di Settembre

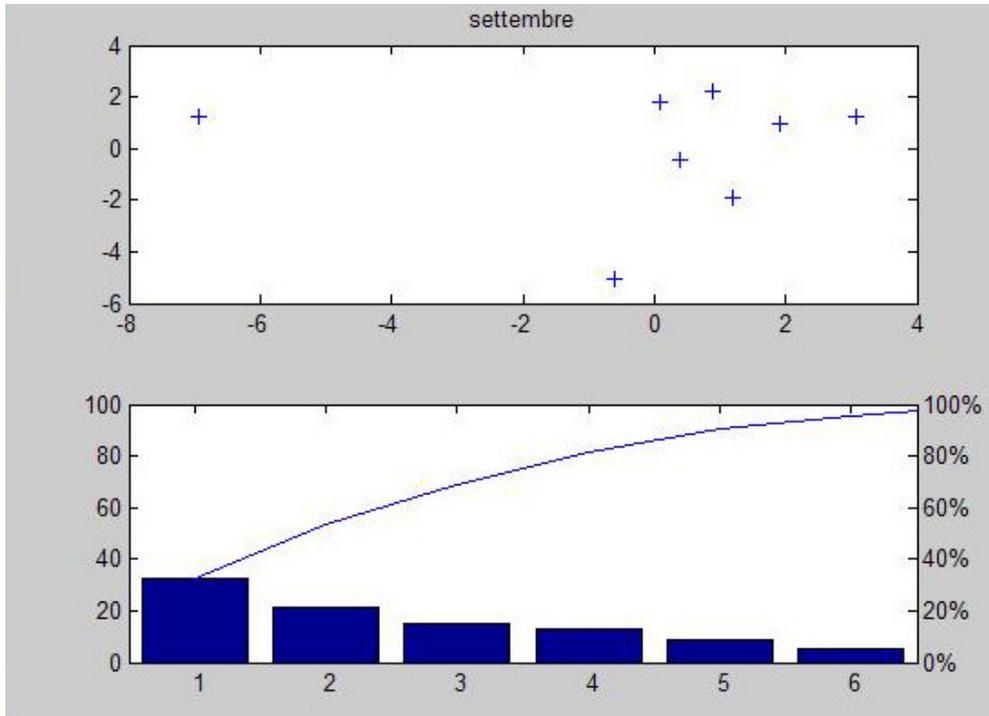


Figura 4.60: Plot e Pareto Matlab Settembre (diagramma a dispersione e delle frequenze cumulate)

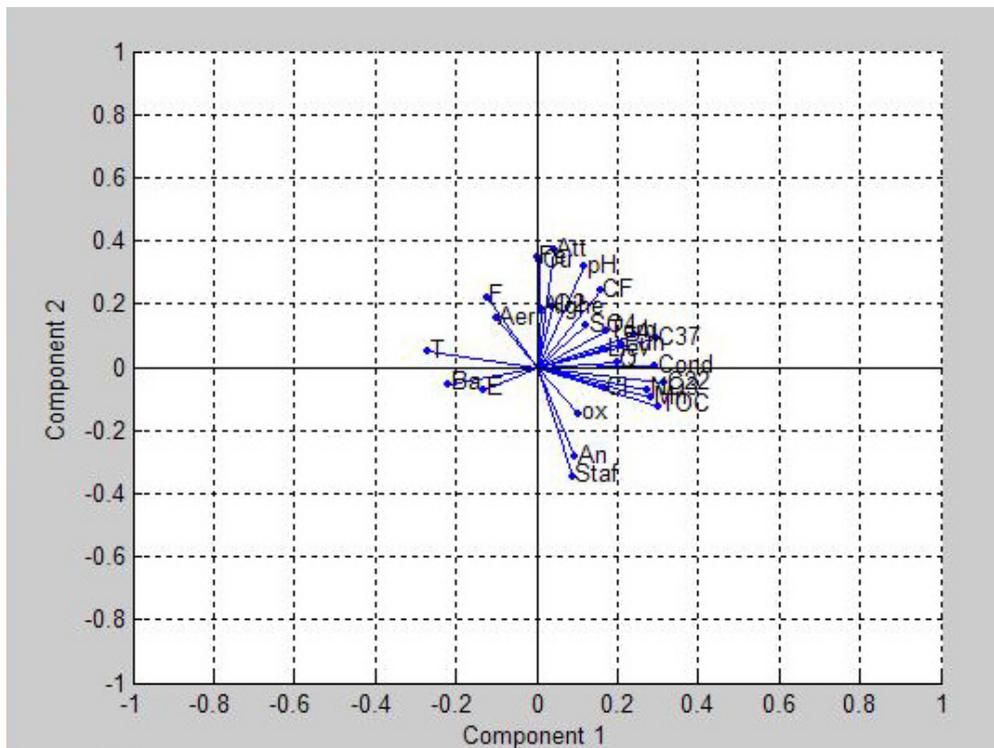


Figura 4.61: Biplot Matlab Settembre (biplot CP)

A settembre, come già in altri mesi precedentemente esaminati, si trovano fluoruri e ferro nella stessa CP; conducibilità e nitrati, alluminio, manganese e bario sono rappresentati dalla CP1, come anche i due tipi di colonie in agar. I cloruri e i solfati, sali che influiscono sulla conducibilità dell'acqua, si trovano nella terza CP. Inoltre, nella CP3 c'è la torbidità questa volta legata alla presenza di enterococchi notevolmente elevata (140 ufc/100ml) a settembre del 2005.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
Portata	0,502758	0,085360	0,096938	0,296962	0,005713	0,000253	0,012010	0	0
Torbidità	0,162090	0,215760	0,239556	0,251530	0,037860	0,029255	0,063949	0	0
pH	0,260663	0,093378	0,376265	0,038971	0,073541	0,014733	0,142454	0	0
Conducibilità 20°	0,515145	0,351148	0,004142	0,004043	0,005630	0,007949	0,111961	0	0
Temperatura acqua	0,384395	0,269429	0,001833	0,000840	0,041802	0,018119	0,283602	0	0
Ossigeno disciolto	0,007848	0,463958	0,192850	0,034673	0,007901	0,288231	0,004535	0	0
Cloruri	0,407372	0,191149	0,123364	0,115361	0,000178	0,153922	0,008648	0	0
Nitrati	0,712950	0,138433	0,020498	0,060091	0,020999	0,015289	0,031730	0	0
Ossidabilità	0,107449	0,288799	0,191865	0,034807	0,280588	0,012814	0,083666	0	0
Solfati	0,727839	0,187061	0,044994	0,014710	0,000003	0,006932	0,018489	0	0
Alluminio	0,262500	0,116515	0,189630	0,186460	0,132916	0,015090	0,096902	0	0
Fluoruri	0,829758	0,085818	0,013825	0,000126	0,003058	0,067414	0,000015	0	0
Ferro	0,002816	0,048785	0,426317	0,050435	0,101744	0,313806	0,056102	0	0
Manganese	0,365227	0,114237	0,194351	0,011011	0,203046	0,101322	0,010814	0	0
Bario	0,008962	0,534267	0,085632	0,075780	0,282034	0,012924	0,000411	0	0
Rame	0,011958	0,058213	0,480176	0,371280	0,004662	0,000785	0,072927	0	0
Carbonio Org. Tot.	0,873681	0,056588	0,000403	0,053679	0,008594	0,004421	0,002631	0	0
Coliformi Fecali	0,487968	0,045281	0,360168	0,084707	0,013703	0,000847	0,007316	0	0
Enterococchi	0,193594	0,589558	0,017616	0,025560	0,143193	0,030432	0,000040	0	0
Anaerobi S.R.	0,011720	0,009445	0,420330	0,179547	0,042528	0,266909	0,069540	0	0
Colonie in Agar 37°C	0,331524	0,054653	0,495223	0,100175	0,004109	0,008098	0,006201	0	0
Colonie in Agar 22°C	0,633977	0,175739	0,162617	0,000000	0,004334	0,000005	0,023355	0	0
Aeromonas spp	0,010188	0,475804	0,022729	0,390268	0,008922	0,089305	0,002792	0	0
Alghe	0,023981	0,288352	0,428430	0,225139	0,005579	0,027991	0,000549	0	0
Attinomiceti	0,402305	0,141989	0,001127	0,262158	0,175995	0,006332	0,010094	0	0
Funghi	0,228066	0,097263	0,360357	0,088822	0,077611	0,113389	0,034487	0	0
Lieviti	0,000310	0,456253	0,026363	0,247066	0,245865	0,022510	0,001651	0	0
Stafilococchi patogeni	0,494430	0,359318	0,059916	0,019488	0,004506	0,009721	0,052630	0	0

Tabella 4.47: Matrice dei loading per il mese di Ottobre

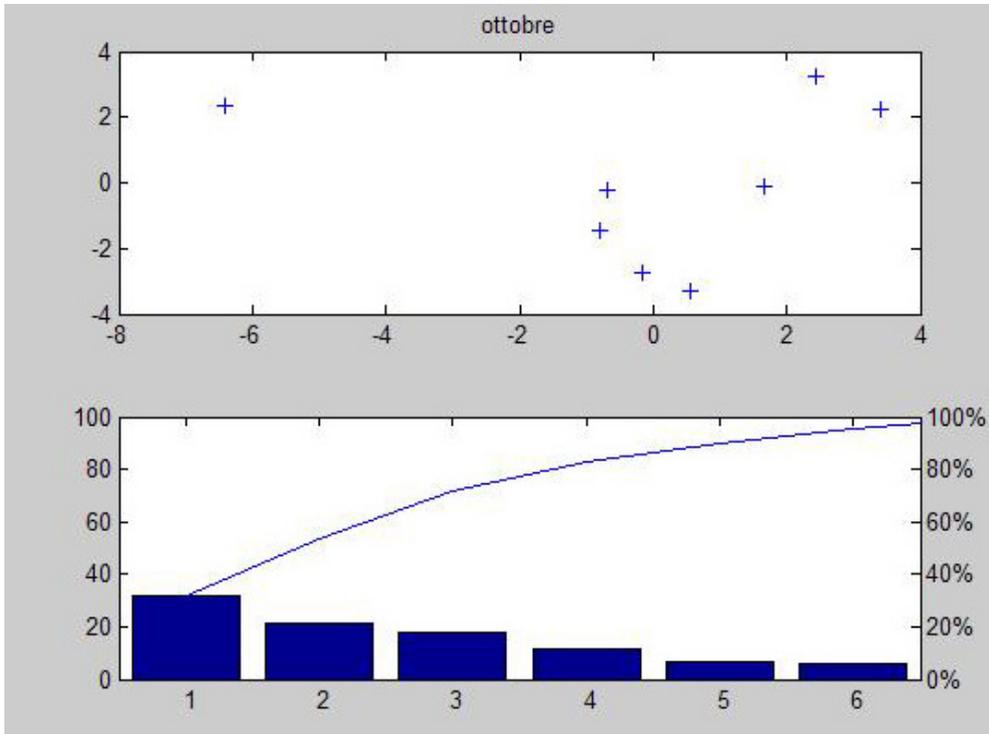


Figura 4.62: Plot e Pareto Matlab Ottobre (diagramma a dispersione e delle frequenze cumulate)

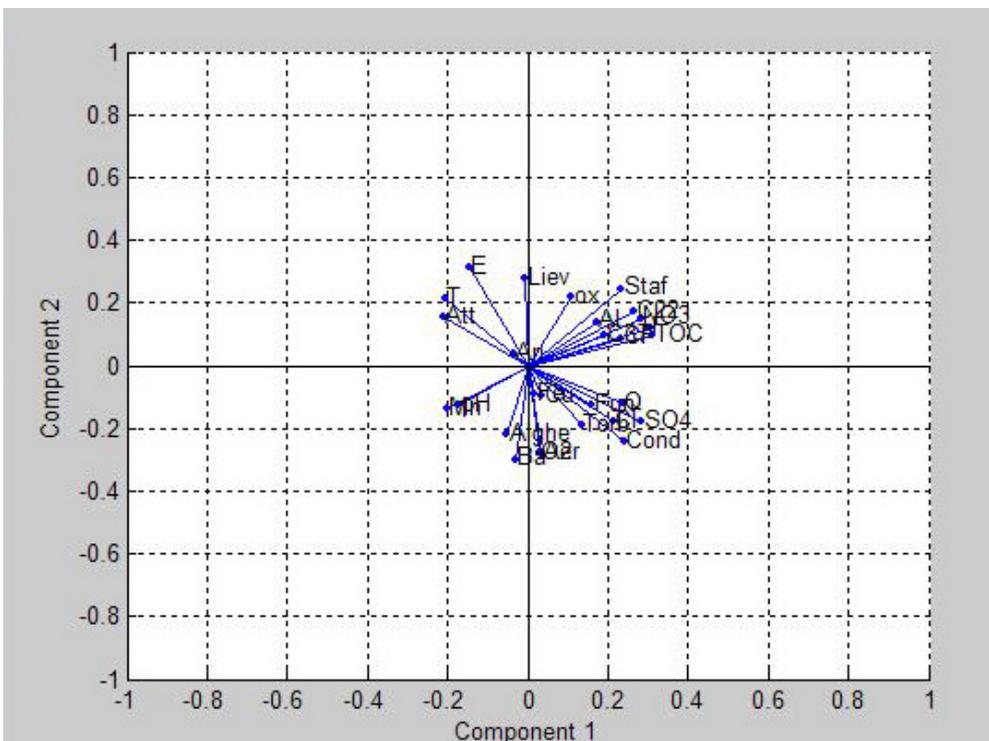


Figura 4.63: Biplot Matlab Ottobre (biplot CP)

Nel mese di ottobre è ancora una volta presente la concomitanza di torbidità ed enterococchi nella medesima CP. Questo perché la concentrazione di questi batteri ad ottobre 2005 è ancora di molto superiore alla media. Nella prima componente principale ci sono i soliti parametri che influenzano la conducibilità e buona parte dei metalli pesanti. Mentre, nella CP4 non spicca alcun parametro in particolare.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
Portata	0,192220	0,019540	0,629965	0,045555	0,011875	0,091414	0,009438	0	0
Torbidità	0,798987	0,024804	0,017552	0,070178	0,055283	0,019007	0,014184	0	0
pH	0,113154	0,443319	0,153775	0,189347	0,059547	0,000075	0,040787	0	0
Conducibilità 20°	0,149262	0,467647	0,268676	0,009260	0,068454	0,003263	0,033456	0	0
Temperatura acqua	0,308480	0,003371	0,269675	0,306969	0,000867	0,101242	0,009372	0	0
Ossigeno disciolto	0,215612	0,733311	0,000771	0,021078	0,005746	0,022415	0,001081	0	0
Cloruri	0,277876	0,235688	0,001496	0,176193	0,264702	0,001801	0,042249	0	0
Nitrati	0,246235	0,000672	0,025791	0,067389	0,148211	0,193350	0,318362	0	0
Ossidabilità	0,047044	0,151615	0,086934	0,680174	0,031035	0,001619	0,001577	0	0
Solfati	0,451286	0,217840	0,067519	0,057555	0,000420	0,198196	0,007167	0	0
Alluminio	0,814940	0,045908	0,000124	0,114596	0,013404	0,001669	0,009354	0	0
Fluoruri	0,551128	0,074485	0,219936	0,000262	0,025043	0,017703	0,111454	0	0
Ferro	0,138832	0,247515	0,259348	0,111899	0,215229	0,026187	0,000978	0	0
Manganese	0,332506	0,113892	0,335250	0,020775	0,146958	0,012932	0,037678	0	0
Bario	0,275701	0,000832	0,019540	0,631916	0,008465	0,063422	0,000128	0	0
Rame	0,085017	0,424511	0,026317	0,138800	0,181505	0,016177	0,127661	0	0
Carbonio Org. Tot.	0,206888	0,011963	0,371298	0,194813	0,147075	0,013236	0,054707	0	0
Coliformi Fecali	0,559677	0,097149	0,021481	0,004594	0,276131	0,007376	0,033607	0	0
Enterococchi	0,503240	0,166600	0,002180	0,145015	0,042329	0,131665	0,008960	0	0
Anaerobi S.R.	0,238381	0,000232	0,020044	0,007014	0,696572	0,036350	0,001401	0	0
Colonie in Agar 37°C	0,853549	0,133143	0,004508	0,002699	0,003856	0,001896	0,000363	0	0
Colonie in Agar 22°C	0,108733	0,430971	0,122673	0,252970	0,003127	0,020593	0,060931	0	0
Aeromonas spp	0,246842	0,391988	0,049206	0,024070	0,129818	0,158007	0,000066	0	0
Algh	0,006196	0,073034	0,304317	0,342198	0,081540	0,002480	0,190224	0	0
Attinomiceti	0,123610	0,387224	0,089144	0,072528	0,166032	0,036925	0,124535	0	0
Funghi	0,152632	0,029818	0,728892	0,004954	0,000425	0,073473	0,009801	0	0
Lieviti	0,415116	0,107441	0,199473	0,073553	0,080303	0,028093	0,096016	0	0
Stafilococchi patogeni	0,063186	0,004489	0,286929	0,055925	0,020945	0,521142	0,047374	0	0

Tabella 4.48: Matrice dei loading per il mese di Novembre

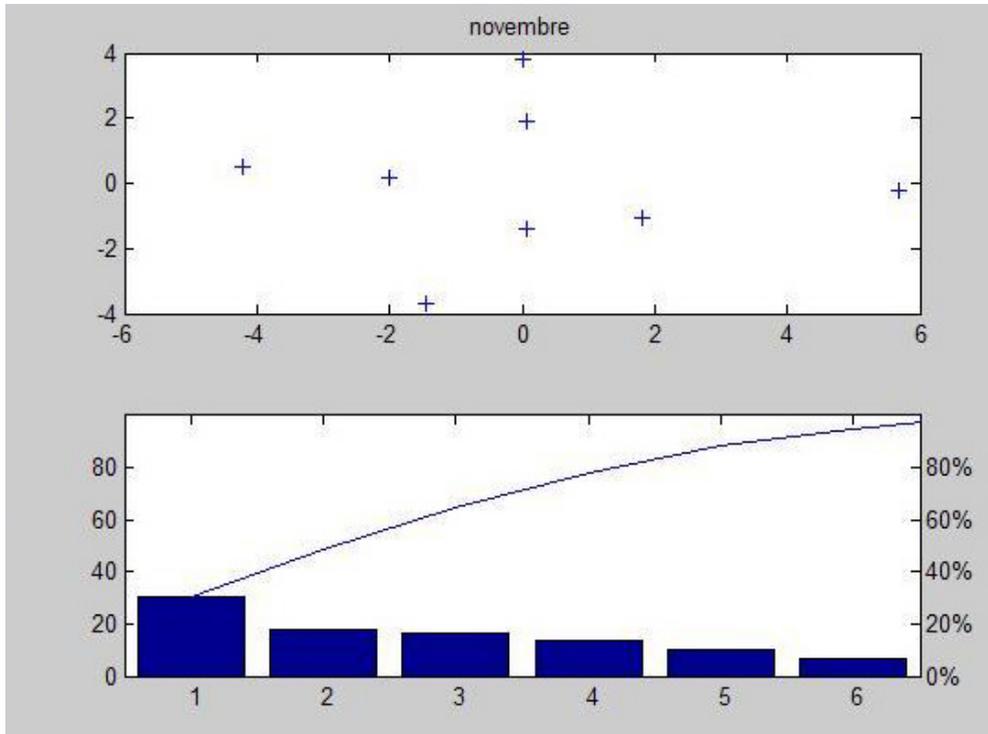


Figura 4.64: Plot e Pareto Matlab Novembre (diagramma a dispersione e delle frequenze cumulate)

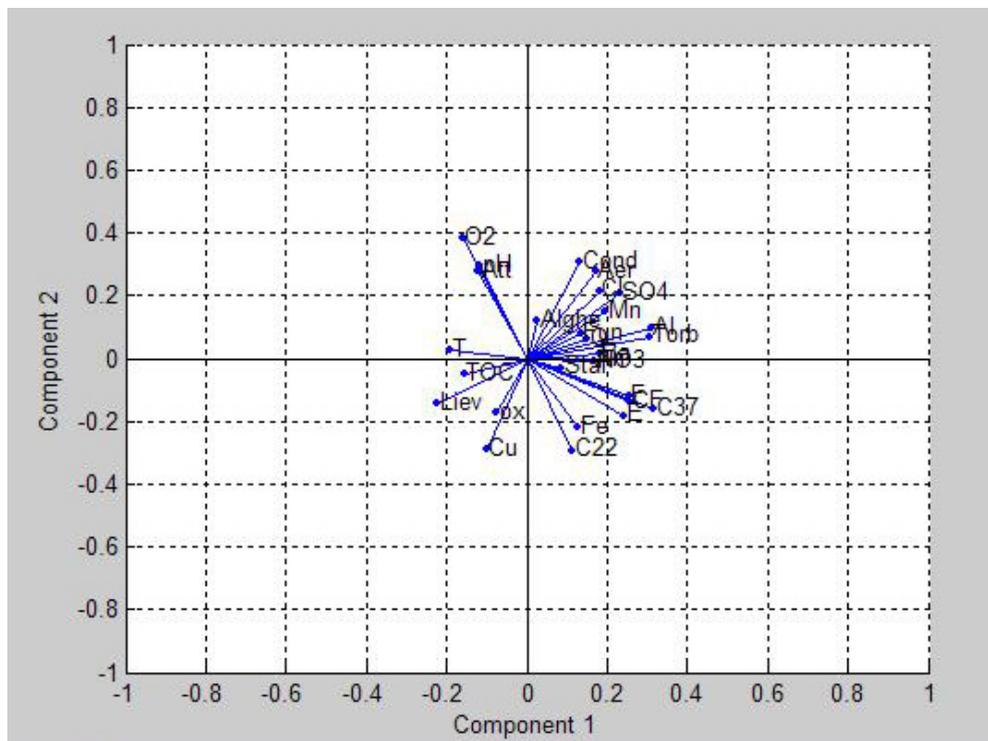


Figura 4.65: Biplot Matlab Novembre (biplot CP)

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
Portata	0,147555	0,716013	0,044284	0,049613	0,008320	0,034224	0	0	0
Torbidità	0,881696	0,002636	0,041074	0,021311	0,006913	0,046367	0	0	0
pH	0,063201	0,599516	0,129507	0,063798	0,110302	0,033686	0	0	0
Conducibilità 20°	0,432862	0,179865	0,128445	0,047301	0,177289	0,034245	0	0	0
Temperatura acqua	0,241894	0,074992	0,367707	0,213332	0,080212	0,021841	0	0	0
Ossigeno disciolto	0,000357	0,906972	0,026113	0,011832	0,049090	0,005648	0	0	0
Cloruri	0,420143	0,004407	0,461167	0,070445	0,039229	0,004608	0	0	0
Nitrati	0,253472	0,511679	0,159413	0,009312	0,037532	0,028581	0	0	0
Ossidabilità	0,448621	0,208576	0,106264	0,001777	0,233583	0,001180	0	0	0
Solfati	0,458458	0,305127	0,230583	0,000875	0,000269	0,004673	0	0	0
Alluminio	0,947723	0,006623	0,008973	0,007005	0,000008	0,029645	0	0	0
Fluoruri	0,245131	0,027561	0,247889	0,001125	0,077492	0,400780	0	0	0
Ferro	0,049908	0,585994	0,116791	0,036261	0,199895	0,011166	0	0	0
Manganese	0,758499	0,080836	0,035332	0,044704	0,065135	0,015485	0	0	0
Bario	0,158749	0,258344	0,064891	0,314336	0,031980	0,171709	0	0	0
Rame	0,068230	0,018425	0,297079	0,480521	0,083320	0,052419	0	0	0
Carbonio Org. Tot.	0,250552	0,149476	0,113954	0,024394	0,371807	0,089809	0	0	0
Coliformi Fecali	0,362845	0,056274	0,129171	0,275760	0,076930	0,099016	0	0	0
Enterococchi	0,523289	0,009296	0,214787	0,009435	0,173623	0,069536	0	0	0
Anaerobi S.R.	0,715654	0,011822	0,130074	0,011259	0,014036	0,117168	0	0	0
Colonie in Agar 37°C	0,803498	0,000108	0,057790	0,055783	0,070893	0,011894	0	0	0
Colonie in Agar 22°C	0,654489	0,080272	0,012734	0,017586	0,157087	0,077841	0	0	0
Aeromonas spp	0,379573	0,045211	0,055923	0,348139	0,052465	0,118654	0	0	0
Alghe	0,068725	0,010242	0,101103	0,372921	0,271043	0,175974	0	0	0
Attinomiceti	0,840344	0,121585	0,009486	0,000356	0,000742	0,027487	0	0	0
Funghi	0,338145	0,575972	0,009941	0,057912	0,000202	0,017821	0	0	0
Lieviti	0,511517	0,237233	0,192473	0,007421	0,006194	0,045140	0	0	0
Stafilococchi patogeni	0,408996	0,368972	0,012864	0,025175	0,029715	0,154292	0	0	0

Tabella 4.49: Matrice dei loading per il mese di Dicembre

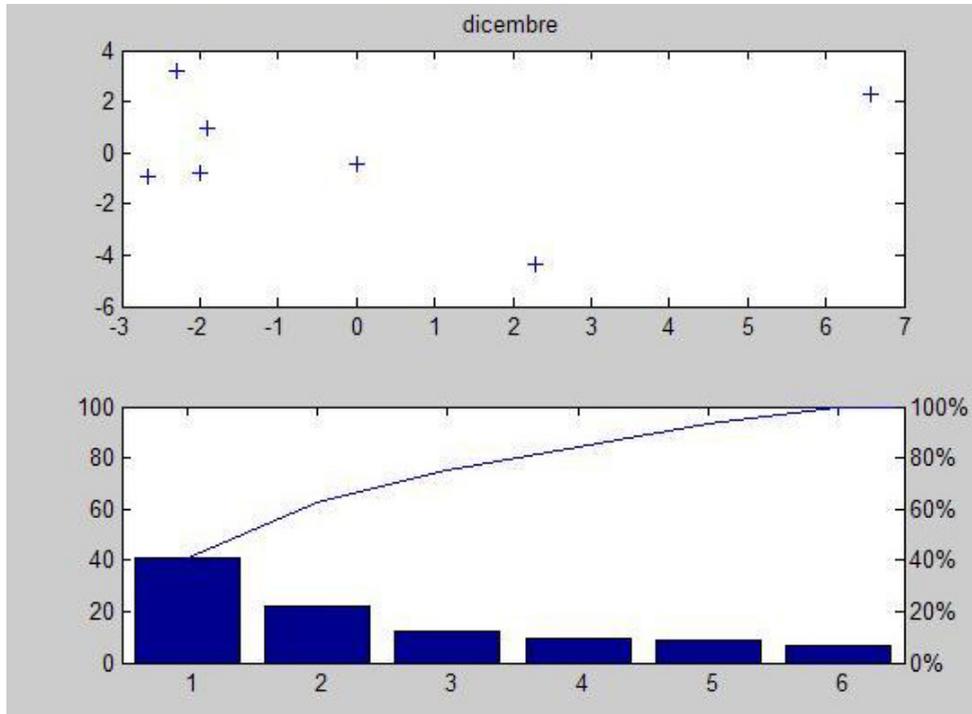


Figura 4.66: Plot e Pareto Matlab Dicembre (diagramma a dispersione e delle frequenze cumulate)

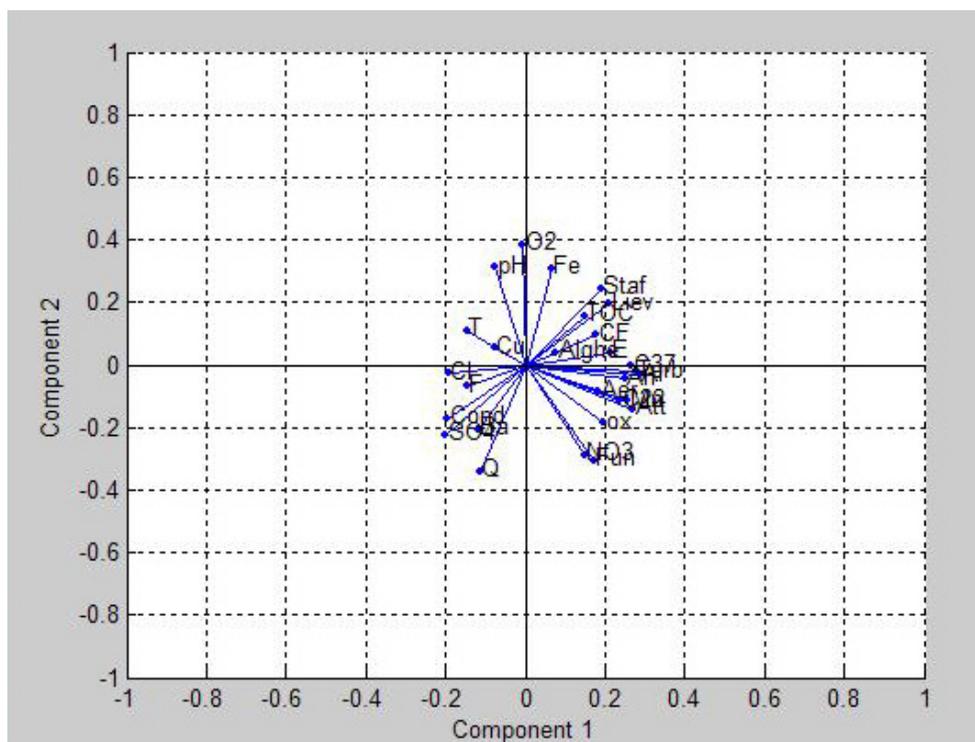


Figura 4.67: Biplot Matlab Dicembre (biplot CP)

Negli ultimi due mesi dell'anno risultano nella CP1 sia la torbidità che l'alluminio. Infatti, dai grafici sull'andamento della torbidità (Figura 4.4) è possibile vedere che a dicembre 2008 è stato registrato un picco massimo di torbidità per gli otto anni esaminati. Il 2008 è stato definito "l'anno della grande siccità", infatti il 22 novembre è stato misurato un livello dell'acqua nell'invaso pari a 516,04 m s.l.m., con una media mensile di 517,59 m s.l.m, di poco superiore al minimo storico avuto a gennaio 2002 (515,96 m). In questo periodo i diversi invasi della Basilicata, come quello di Monte Cotugno e del Pertusillo, oltre quello del Camastra hanno registrato portate d'acqua talmente esigue da far parlare di "emergenza idrica". Subito dopo la siccità, a seguito di un miglioramento della situazione legato ad un aumento delle precipitazioni, si sono verificati ben tre mesi con elevati valori di torbidità e conseguenti valori minimi per i cloruri, i nitrati e la conducibilità. Inoltre, la presenza di alluminio ha sfiorato i 4 mg/l e il ferro a novembre era superiore ai 1000 µg/l, mentre il manganese ha raggiunto livelli eccezionali pari (152 µg/l) a riprova di ciò, ferro e manganese a novembre rientrano entrambi nella terza componente principale. Per concludere l'analisi delle componenti principali per quanto riguarda i parametri aventi dati disponibili dal 2002 al 2009, si verifica l'aggregazione dei mesi dell'anno all'interno delle componenti principali.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10
Gennaio	5,711812	0,562092	2,220669	0,253099	0,203506	0,000114	0,011803	0	0	0
Febbraio	8,568795	0,283161	1,535441	0,435293	0,054589	0,069286	0,019156	0	0	0
Aprile	9,580424	0,598576	0,211953	0,282673	0,372822	0,154151	0,015147	0	0	0
Maggio	7,693655	0,000871	0,083017	0,302511	0,024054	0,041538	0,014801	0	0	0
Giugno	8,062516	0,04987	0,850372	0,047428	0,015256	0,098405	0,033864	0	0	0
Luglio	0,497673	3,587758	1,832256	1,615234	0,000306	0,022305	0,012978	0	0	0
Agosto	2,98984	2,073907	0,001	2,141969	0,198465	0,005018	0,006917	0	0	0
Settembre	6,056538	2,371903	0,458122	0,05506	0,002775	0,077964	0,089071	0	0	0
Ottobre	6,904796	0,986791	0,721268	0,110476	0,004906	0,215849	0,017395	0	0	0
Novembre	0,723869	7,077904	0,115472	0,298974	0,175908	0,08373	0,000214	0	0	0

Tabella 4.50: Matrice dei loading per tutti i mesi

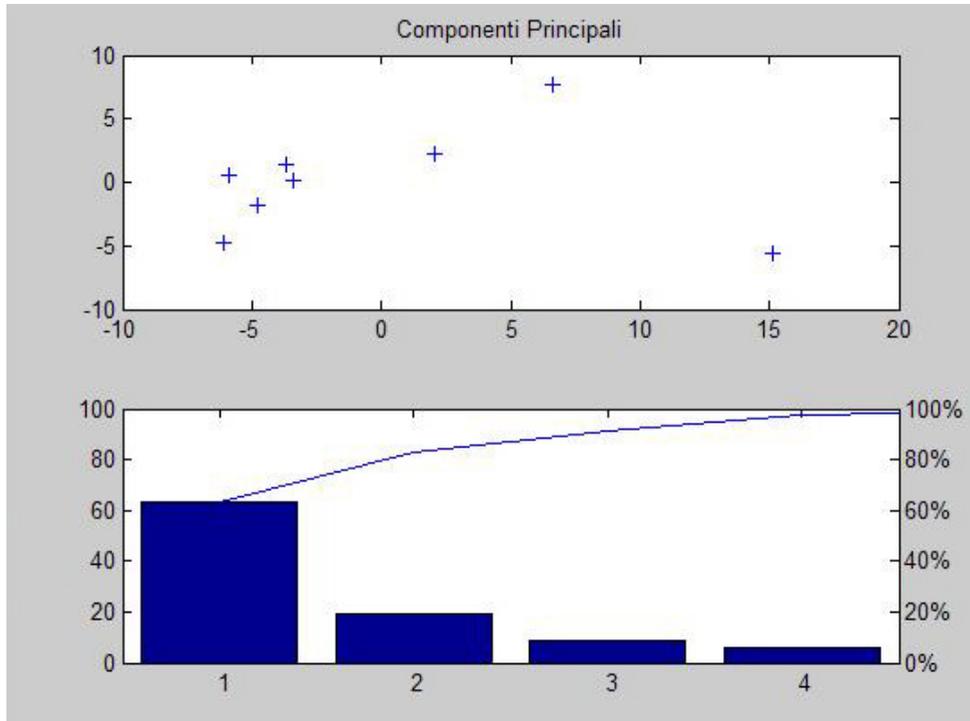


Figura 4.68: Plot e Pareto Matlab Mesi (diagramma a dispersione e delle frequenze cumulate)

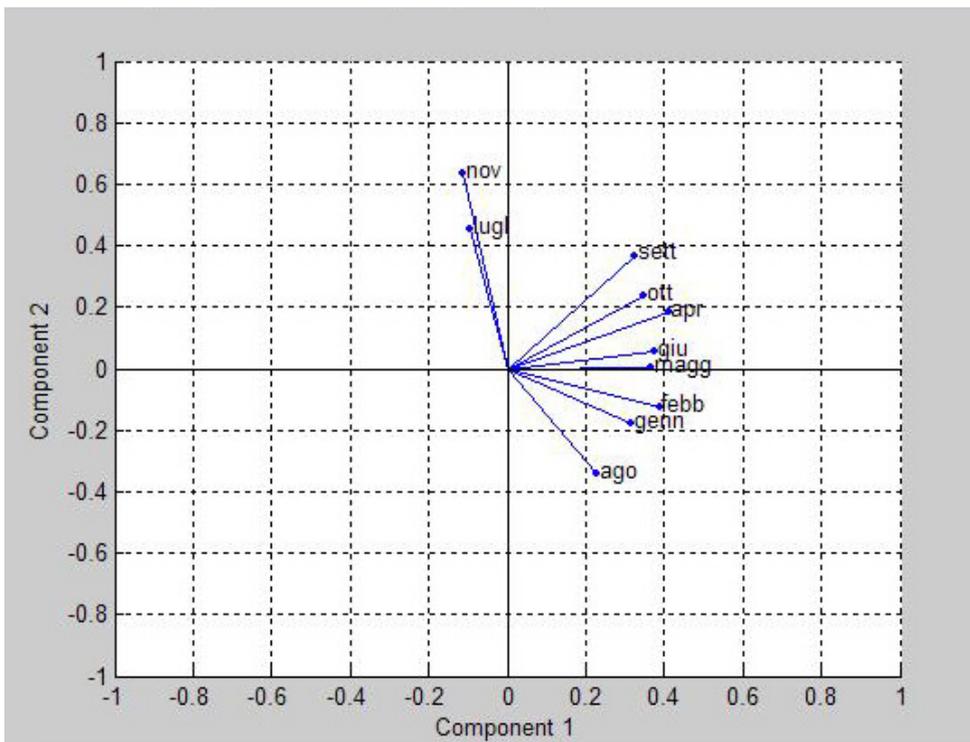


Figura 4.69: Biplot Matlab Mesi (biplot CP)

Dalla Tabella 4.50 appena trascritta il primo semestre dell'anno risulta spiegato dalla CP1, insieme ad agosto, settembre e ottobre, mentre nella seconda componente vi sono solo luglio e novembre. Se si confrontano i valori medi che tutti i parametri assumono in questi due mesi, si nota che sono molto simili, fatta eccezione per l'alluminio e il ferro che derivano da una torbidità maggiore a novembre.

Allo studio delle componenti principali appena concluso si vanno ad aggiungere i risultati della PCA condotta sui parametri considerati fino a maggio 2005 e poi sulla totalità dei dati di partenza fino al 2004, si possono ottenere ulteriori informazioni sulle CP, e sui corrispondenti loadings, che vanno ad integrare quelle finora esposte.

Nella maggior parte dei mesi esaminati, si trova corrispondenza a quanto detto già nell'analisi bivariata, ovvero ad esempio che durezza, calcio e magnesio si trovano sempre nella stessa CP e spesso associate anche all'alcalinità. Inoltre, la torbidità si trova sempre nella CP in cui compaiono i coliformi totali e spesso anche l'alluminio e il ferro. Spesso i coliformi totali sono spiegati nella stessa CP degli aeromonas. Infatti, mettendo in relazione l'andamento di questi ultimi con quello dei coliformi in un'analisi bivariata, si dimostra che essi sono legati da una correlazione negativa, ovvero al diminuire dei primi aumentano i secondi. Spesso i coliformi fecali sono dipendenti dall'escherichia-coli. Gli studi dell'US EPA hanno inoltre contribuito ad avvalorare la necessità di sostituire, per la valutazione della qualità delle acque, il parametro coliformi fecali con quello di Escherichia coli. La scelta, motivata dalla netta predominanza di E. coli rispetto agli altri coliformi nel materiale fecale e dalla minore sensibilità del microrganismo alle procedure di disinfezione rispetto alla maggior parte dei batteri patogeni enterici, è stata ormai accreditata da tutta la comunità scientifica internazionale.

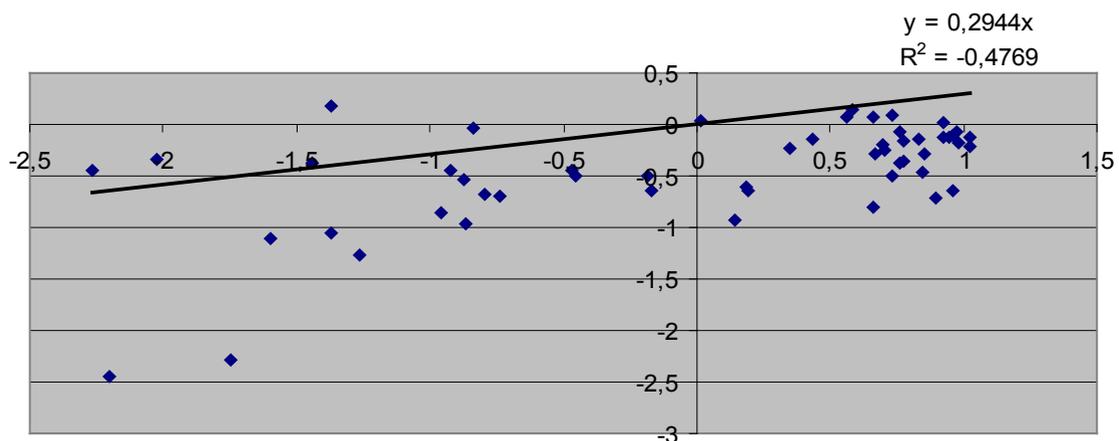


Figura 4.70: Correlazione tra Coliformi totali e Aeromonas

Andando, infine, ad analizzare la matrice dei loading fino a maggio 2005, gennaio, febbraio, marzo e maggio sono raggruppati nella stessa componente, mentre aprile si trova nell'altra. L'isolamento del mese di aprile rispetto agli altri del primo semestre trova spiegazione nella presenza in tale mese di valori superiori alla media annuale per quanto riguarda alluminio, ferro e manganese. Invece, nella PCA condotta

sui dati fino al 2004 sono stati considerati in aggiunta anche sodio e potassio che in diversi mesi sono spiegati dalla stessa CP che contiene durezza, calcio e magnesio. Intorno a gennaio e febbraio del 2005 sono stati determinati alti valori di torbidità contemporaneamente ad un aumento di nitrati e solfati, insieme a sodio e potassio, calcio e magnesio, ovviamente correlati ad un incremento della conducibilità, tutti raggruppati nella prima CP.

Per concludere, è stata realizzata l'Analisi delle Componenti Principali considerando i dati nella loro forma di partenza, quindi non più organizzati per mese.

Dai risultati della ACP per i parametri di cui si dispone di dati dal 2002 al 2009, è possibile evidenziare l'aggregazione della maggior parte dei parametri batteriologici nella prima Componente Principale, ad eccezione di aeromonas, alghe e funghi. Inoltre, la CP1 racchiude torbidità e alluminio, che, come dimostrato in precedenza, sono fra loro ben correlati, ed anche pH, temperatura, ossigeno disciolto e ossidabilità, che erano già stati trovati insieme nella precedente analisi multivariata.

Le stesse elaborazioni sono state ripetute per i parametri di cui si dispone di dati solo fino a maggio del 2005. Da queste emerge ancora una volta la presenza nella stessa componente di torbidità e alluminio, come anche magnesio e cloruri insieme alla conducibilità nella CP2. Come già successo in precedenza, anche qui, nella stessa componente sono accoppiati sodio e potassio, insieme a conducibilità e magnesio. Per quanto riguarda i microrganismi da questa Analisi delle Componenti Principali non risultano particolari aggregazioni, ma si ritrovano nella prima CP le colonie in agar sia a 37°C che a 22°C, insieme ad alghe e funghi, mentre coliformi fecali, enterococchi ed escherichia-coli fanno parte della stessa componente CP3, a riprova della correlazione tra coliformi fecali ed escherichia-coli.

Per i parametri le cui determinazioni si fermano al 2005, sono risultate ben otto Componenti Principali, che spiegano l'82 % della varianza dei dati. Esaminando la matrice dei loading anche questa volta vengono riconfermate molte aggregazioni già evidenziate in precedenza, come ad esempio la torbidità legata ai metalli pesanti, in particolare alluminio e ferro; nella stessa componente si ritrova anche l'ossigeno disciolto in stretta relazione con la temperatura e il pH, ed anche ossidabilità e durezza totale. Nella seconda Componente Principale si trovano tutti parametri che vanno ad influenzare la conducibilità dell'acqua a 20 °C, quali magnesio e cloruri, sodio e potassio. Per quanto concerne i parametri batteriologici: coliformi fecali ed escherichia-coli, si trovano ancora una volta nella medesima CP, unitamente ai coliformi totali e agli enterococchi, mentre, le colonie in agar, i funghi e le alghe si trovano nella CP1 alla quale appartengono la maggior parte dei parametri chimici, tra cui ossigeno e nitrati, entrambi fondamentali per la vita microbica.

CONCLUSIONI

L'obiettivo del presente lavoro di tesi è stato quello di analizzare ed elaborare i dati riguardanti le analisi chimico-fisiche e batteriologiche effettuate presso l'impianto di potabilizzazione di Masseria Romaniello e valutare la qualità delle acque provenienti dall'invaso del Camastra. Utilizzando i dati relativi alle analisi effettuate sull'acqua in ingresso al potabilizzatore del Camastra dal 2002 al 2009, è stata realizzata dapprima un'analisi statistica univariata, poi bivariata e infine un'Analisi delle Componenti Principali sul campione multivariato dei dati a disposizione. Dall'analisi dei risultati ottenuti dall'ACP è stato possibile spiegare la presenza per alcuni parametri di valori alterati rispetto alla media mensile e/o annuale. Soprattutto nei mesi invernali sia del 2002 che del 2008 sono stati rilevati valori di torbidità di molto distanti dalla media, ed è stato possibile chiarire, in relazione ad essa, anche la presenza di notevoli concentrazioni di metalli pesanti. Difatti, andando ad esaminare il livello dell'invaso del Camastra, nei mesi in questione sono stati riscontrati valori molto bassi, coincidenti con periodi di siccità e di magra dei corsi d'acqua. A seguito di una successiva ripresa della portata e all'immissione dell'acqua in moto turbolento dei fiumi e dei torrenti in piena, in relazione ad un preesistente basso livello dell'acqua nella diga, si sono riscontrati rimescolamenti nell'ambito dell'epilimnio e dell'ipolimnio. Nell'invaso si sono così manifestati fenomeni di intorbidimento dell'acqua, in conseguenza della diffusione delle particelle detritiche messe in movimento dall'energia dell'acqua. Tra i metalli maggiormente presenti in queste situazioni sono stati registrati l'alluminio, il ferro e il rame, caratteristici dei terreni argillosi tipici del territorio lucano. Attraverso l'esame delle Componenti Principali è emersa anche la correlazione della conducibilità elettrica con alcuni degli ioni presenti in acqua, come nitrati, solfati, sodio e potassio, in quanto essa misura la capacità di condurre corrente di un'acqua contenente dei sali disciolti (ioni). Tanto più elevata è la concentrazione degli ioni, tanto maggiore sarà la conducibilità. Un altro parametro che assume notevole importanza per i valori di conducibilità dell'acqua è risultato essere la temperatura, poiché il passaggio delle cariche è legato al movimento delle molecole d'acqua, che aumenta appunto al crescere dei valori di tale parametro.

Inoltre, poiché la parte più rilevante (90%) dei solidi contenuti nelle acque di rete è costituita da carbonati di calcio e magnesio, bisogna tenere presente anche i valori relativi alla durezza, al calcio e al magnesio, che sono risultati sempre aggregati nella stessa Componente Principale.

Per quanto riguarda i parametri batteriologici, grazie all'Analisi delle Componenti Principali è stato possibile evidenziare la relazione tra coliformi fecali ed escherichia-coli e tra funghi e attinomiceti, spesso presenti in un'unica Componente Principale. Infine, i valori di picco registrati nell'estate del 2009, per quanto riguarda le alghe, sono giustificabili legando la fioritura algale registrata con una concentrazione elevata di ossigeno disciolto e soprattutto con una temperatura più alta delle medie estive registrate negli otto anni esaminati.

In definitiva, l'Analisi delle Componenti Principali, realizzata sul campione di dati a disposizione, ha messo in evidenza la possibilità di monitorare la variazione di molti parametri in funzione di pochi fondamentali. Infatti, la torbidità e la temperatura possono essere considerati *parametri indicatori* della presenza nell'acqua grezza sia di metalli pesanti che di colonie microbiche. Per quanto riguarda i primi, riveste un ruolo fondamentale la conoscenza del livello dell'invaso, mentre per i secondi risulta estremamente vincolante anche la concentrazione di ossigeno disciolto in acqua.

A conclusione di questo lavoro di tesi, è inoltre possibile affermare che le acque provenienti dall'invaso del Camastra e potabilizzate presso l'impianto di Masseria Romaniello a Potenza sono di ottima qualità. L'acqua grezza addotta all'impianto viene classificata, secondo la normativa (Dlgs. 152/2006) come appartenente alla categoria A2, per cui necessita soltanto di un trattamento chimico-fisico tradizionale per rimuovere i solidi sospesi e i colloidali e di una disinfezione con ipoclorito di sodio per mantenere un effetto battericida nelle reti di distribuzione. Se si confrontano i valori dei parametri esaminati in questa tesi con i valori limite stabiliti dal Dlgs. 152/2006 (tabella 1/A dell'allegato 2 alla parte terza), è possibile affermare che le acque superficiali attinte dalla diga del Camastra non rientrano nella categoria A1 solo per pochi parametri i cui valori si discostano da quelli fissati dalla normativa.

SOMMARIO ESTESO

L'acqua è da sempre uno dei beni più importanti esistenti sulla terra, fondamentale per la vita dell'uomo, nonché una preziosa risorsa da gestire responsabilmente, soprattutto da quando si è acquistata consapevolezza che essa non è inesauribile, ma che, al contrario, la sua disponibilità è limitata.

La nostra regione, fortunatamente, non risente in misura preoccupante della scarsità d'acqua, anzi, le risorse idriche in Basilicata rappresentano una delle ricchezze naturali più abbondanti. La Basilicata è interessata da una complessa e fitta rete idrografica, determinata dalla presenza della catena appenninica che attraversa il territorio occidentale della regione, ed incentrata su cinque fiumi principali con foce nel mar Jonio (Bradano, Basento, Cavone, Agri e Sinni) i cui bacini si estendono su circa il 70% del territorio regionale. La restante porzione è invece interessata dal bacino in Destra del fiume Ofanto, che sfocia nel mar Adriatico, e dai bacini del fiume Sele, Noce e Lao con foce nel mar Tirreno. Si tratta complessivamente di nove bacini idrografici, per un'estensione totale di 11.171,18 Km². L'idrologia dei bacini lucani assicura una buona disponibilità di risorsa idrica. Le principali fonti di approvvigionamento (invasi artificiali, sorgenti, fiumi e torrenti), infatti, sono in grado di garantire una disponibilità di acqua annua di circa 1.000 milioni di metri cubi, da utilizzare in più settori: il potabile, l'irriguo, l'idroelettrico e in minima parte l'industriale. La risorsa idrica dei principali corsi d'acqua lucani è stata intercettata mediante la realizzazione di grandi opere di accumulo, quali dighe e traverse, che ne hanno reso più agevole l'utilizzo.

Il presente lavoro di tesi ha per oggetto l'analisi della qualità delle acque superficiali della Basilicata destinate ad uso potabile, affrontando in particolare il problema inerente la qualità delle acque in ingresso al potabilizzatore della città di Potenza.

Ai fini di un'analisi dettagliata della qualità delle acque potabili che servono la città di Potenza e buona parte dei comuni della provincia è stato preso in considerazione uno specifico invaso lucano: *l'invaso del Camastra*.

La diga del Camastra si apre nella vallata tra Trivigno, Anzi, Laurenzana e Albano di Lucania, in località Ponte Fontanelle, ed è uno sbarramento artificiale del torrente Camastra, affluente del fiume Basento. Quest'invaso artificiale, che sottende un bacino imbrifero di 350 Km², ha una profondità di 54 metri ed è posto ad una quota di fondo alveo paria a 495.00 m s.l.m., ha una capacità utile di progetto di circa 32 milioni di m³ di acqua, ma a causa della tipologia del bacino, in cui è molto forte il fenomeno dell'interrimento, la sua capacità utile si è ridotta a 22 milioni di m³. La diga è stata costruita tra il 1962 e il 1970, realizzata in terra, zonata, con nucleo centrale impermeabile.

Le acque attinte dalla diga del Camastra soddisfano non solo i fabbisogni idropotabili della città di Potenza e del suo hinterland, ma anche le esigenze idriche dell'area industriale Val Basento in territorio materano e la richiesta, in periodi di siccità, per uso irriguo delle colture presenti lungo le fasce golenali del fiume

Basento. Le acque provenienti dall'invaso sono addotte al potabilizzatore di Masseria Romaniello (che deve il suo nome alla località in cui è situato a 930 m s.l.m.) dove subiscono un processo di potabilizzazione che, modificandone le caratteristiche chimico-fisiche, le rende idonee al consumo umano .

La portata d'acqua potabilizzata presso il potabilizzatore unitamente a quella proveniente dalla sorgente di Fossa Cupa, analizzata e trattata direttamente dall'Acquedotto Lucano, serve ad alimentare la rete idrica della città di Potenza e di altri 20 Comuni della provincia.

L'acqua in arrivo all'impianto di Masseria Romaniello viene invasata in una vasca di accumulo a cielo aperto, avente una capacità pari a 40000 m³, che funge da bacino di sedimentazione in cui si depositano per gravità i solidi sospesi. L'impianto ha una capacità di trattamento pari a 1000 l/s ed è fornito di un sistema informatico e di una stazione di filtrazione su carbone attivo granulare realizzata nel 2001 che permette il controllo dei sottoprodotti della disinfezione ai fini del D.Lgs 31/01 e il miglioramento delle caratteristiche organolettiche dell'acqua.

Sistematicamente l'Acquedotto Lucano effettua presso il potabilizzatore controlli sulla qualità sia dell'acqua grezza in entrata che dell'acqua trattata in uscita, monitorandone i parametri sia chimico-fisici che batteriologici. Vengono effettuati molti più prelievi di quelli obbligatori stabiliti dalla normativa (D.lgs. 152/2006), ad esempio solo nell'anno 2008 si contano 305 prelievi, a fronte dei 35 previsti dalla legislazione vigente, con la rilevazione di 7232 parametri chimici e 2745 parametri microbiologici.

I dati risultanti dalle analisi, sia per l'acqua grezza che per quella trattata, sono raccolti quotidianamente in tabelle e ogni mese sono puntualmente riassunti in una scheda indicante la media mensile e il valore massimo e minimo registrato per ogni parametro. Nelle schede riassuntive, per ciò che concerne l'acqua grezza, per le analisi chimiche sono presenti i valori numerici relativi a 31 parametri chimico-fisici, mentre per le analisi batteriologiche sono controllati 13 tipologie fisse di microrganismi, con l'aggiunta di eventuali patogeni nel caso ne venisse riscontrata la presenza.

Il processo di potabilizzazione dal punto di vista funzionale è rappresentato dal seguente ciclo tecnologico:

- Pre-disinfezione: disinfezione dell'acqua con biossido di cloro (ClO₂), che ossida le sostanze organiche ed i microrganismi per evitare che proliferino nelle altre unità dell'impianto.
- Chiariflocculazione: rimozione delle particelle colloidali di dimensioni inferiori a 1 µm attraverso la destabilizzazione della sospensione colloidale e la successiva aggregazione in fiocchi di fango delle sostanze da eliminare.
- Filtrazione: passaggio da parte dell'acqua attraverso un supporto poroso, sabbia quarzifera con granulometria assortita o carboni attivi, che consente di eliminare i solidi sospesi ancora presenti.
- Disinfezione finale: clorazione dell'acqua con ipoclorito di sodio (NaOCl) direttamente nella condotta di adduzione ai serbatoi di accumulo dell'acqua potabile.
- Trattamento fanghi: ispessimento per gravità, per incrementare la concentrazione dei solidi, e successiva disidratazione, per la riduzione del tenore di acqua.

A conclusione del suddetto ciclo di trattamento, la portata d'acqua trattata staziona nei serbatoi di accumulo dell'acqua potabile in attesa di essere immessa nella rete dell'acquedotto; mentre la parte solida, consistente nei fanghi di potabilizzazione e costituita dai residui solidi provenienti dalle varie fasi di

trattamento, dopo una fase di ispessimento e disidratazione è destinata allo smaltimento in discarica. Per valutare la qualità delle acque superficiali lucane, e in particolare quelle dell'invaso del Camastra, si è concentrata l'attenzione solo sulle analisi effettuate sull'acqua in ingresso al potabilizzatore, esaminando un campione di dati relativi ai valori dei parametri chimico-fisici e microbiologici monitorati dal 2002 al 2009. Dalle analisi chimico-fisiche sono stati estrapolati solo i valori relativi a 27 parametri, quali *portata, conducibilità, pH, temperatura, ammoniaca e nitriti*, vengono monitorati due volte al giorno, mentre *alcalinità P e alcalinità M, durezza, ossigeno disciolto, calcio, magnesio e cloruri* sono determinati una sola volta al giorno. Infine i metalli (*bario, rame, ferro, piombo, cadmio, manganese, cobalto, nichel, cromo, sodio e potassio*) sono analizzati una o due volte al mese. Controlli più frequenti sono svolti sull'*alluminio*, sui *floruri* e sul *carbonio organico totale*.

Per quanto riguarda le analisi batteriologiche delle acque, ci è soffermati sull'analisi di 13 parametri, tra cui i *coliformi totali e fecali*, gli *enterococchi* e le *colonie in agar a 37°C e 22°C* sono controllati due volte al giorno, gli *aeromonas* ed *escherichia coli* una volta al giorno, gli *anaerobi* ogni tre - quattro giorni, mentre gli altri parametri accessori di norma una volta al mese.

Naturalmente, qualora per uno o più parametri si riscontrasse un valore che si discosti troppo dalla media, le analisi su quel parametro vengono ripetute con maggiore frequenza, per verificare che le modifiche apportate al processo di trattamento risultino efficaci.

Sui dati a disposizione è stata condotta un'attenta indagine statistica, finalizzata a realizzare un'analisi statistica multivariata, che tiene conto delle diverse caratteristiche che meglio descrivono i campioni multidimensionali di dati, da tre - quattro sino a diverse centinaia di variabili.

Infine, con l'obiettivo di analizzare i dati del campione considerandone la sua multidimensionalità, questi sono stati elaborati con l'aiuto del software "Matlab", con cui è stata effettuata l'Analisi delle Componenti Principali per determinare le relazioni tra i diversi parametri e valutare quali tra questi meglio descrive la qualità delle acque superficiali avviate al processo di potabilizzazione.

Dall'analisi dei risultati ottenuti dall'ACP è stato possibile spiegare alcuni valori alterati rispetto alla media mensile e/o annuale per certi parametri, correlandola al livello dell'invaso del Camastra, che nei mesi in questione è risultato molto basso, con la presenza di periodi di siccità e di magra dei corsi d'acqua.

L'analisi dei dati a disposizione ha messo in evidenza la possibilità di monitorare la variazione di molti parametri in funzione di pochi fondamentali. Infatti, la torbidità e la temperatura possono essere considerati parametri indicatori della presenza nell'acqua grezza sia di metalli pesanti che di colonie microbiche. Per quanto riguarda i primi, riveste un ruolo fondamentale la conoscenza del livello dell'invaso, mentre per i secondi risulta estremamente vincolante anche la concentrazione di ossigeno disciolto in acqua.

A conclusione di questo lavoro di tesi, è possibile affermare che le acque provenienti dall'invaso del Camastra e potabilizzate presso l'impianto di Masseria Romaniello a Potenza sono di ottima qualità. L'acqua grezza addotta all'impianto viene classificata, secondo la normativa (Dlgs. 152/2006) come appartenente alla categoria A2, per cui necessita soltanto di un trattamento chimico-fisico tradizionale per rimuovere i solidi sospesi e i colloidali e di una disinfezione con ipoclorito di sodio per mantenere un effetto battericida nelle reti di distribuzione. Se si confrontano i valori dei parametri esaminati in questa

tesi con i valori limite stabiliti dal Dlgs. 152/2006 (tabella 1/A dell'allegato 2 alla parte terza), è possibile affermare che le acque superficiali attinte dalla diga del Camastra non rientrano nella categoria A1 solo per pochi parametri aventi valori leggermente diversi da quelli fissati dalla normativa.

BIBLIOGRAFIA

1. "Testo dell'Accordo di Programma tra la Regione Basilicata, la Regione Puglia, il Ministero dei Lavori Pubblici", Accordo di Programma per l'uso condiviso della risorsa idrica, vol.7, parte III, Roma, 5 agosto 1999, Collana Editoriale "Studi e Ricerche" dell'AdB.
2. Baragona R., "Analisi dei dati", Facoltà di Scienze della Comunicazione, Università degli Studi di Roma "la Sapienza".
3. Bianucci G.e Ribaldone E., "Il trattamento delle acque inquinate", Hoepli Editore edizione 1998.
4. Bollettino Ufficiale della Regione Puglia - n. 100 del 29 settembre 1999 Bari.
5. Bruno M. e Melchiorre S. (2003), "Alghe tossiche: tecniche di campionamento e identificazione, e valutazioni statistiche di uso comune", Roma, dicembre 2003, 33 p. Rapporti ISTISAN 03/32.
6. C. Barbaranelli - F. D'Olimpio, "Analisi dei Dati con SPSS".
7. C. Barbaranelli , "Analisi dei Dati. Tecniche multivariate per la ricerca psicologica e sociale".
8. Capasso V. e Morale D.(2009), "Una guida allo studio della probabilità e della statistica matematica", Esculapio editrice.
9. D'Onghia G.(1963), "La potabilizzazione delle acque", "Corriere del farmacista", 5, (1-15 marzo 1963).
10. Di Franco G. (2005), "EDS: Esplorare, descrivere e sintetizzare i dati" (seconda edizione), Franco Angeli Editore, Milano.
11. Di Nardo E. (2004), "Dispense del corso di Probabilità e Statistica", Università degli studi della Basilicata, Potenza.
12. Diaz, "Appunti di Statistica AA 2001/2002", edizione 29/11/01, Cap. 9 , Università di Cagliari.
13. Filzmoser P., Reimann C., Garrett R.G. (2003), "A Multivariate outlier detection method" Department of Statistics and Probability Theory Vienna, Austria.
14. Funari E., Bastone A., Volterra L., (1992), "Acque potabili. Vol.1: parametri chimici, chimico-fisici e indesiderabili", Pitagora Editrice Bologna.
15. Funari E., Leonello A., Bottoni P.(1996), "Linee guida per la qualità dell'acqua potabile", Pitagora editrice, Bologna.
16. Gallo M. (2009), "L'esame di Statistica",Trento, UNI Service Editrice.
17. Garetto M. (2002), "Statistica – lezione ed esercizi", Quaderni didattici, Dipartimento di Matematica, Università di Torino.
18. Gismondi R. (2002), "Un confronto tra metodi di identificazione di osservazioni outlier in indagini longitudinali finalizzate alla stima di una variazione: proposte teoriche e verifiche empiriche", STATISTICA, anno LXII, n. 2, 2002.
19. Guarracino M. (2006), "Esplorazione dei dati", Laboratorio di Sistemi Informativi Aziendali a.a.

- 2006/2007, Dipartimento di Informatica, Università di Pisa.
20. Lombardo R., *“L'analisi multivariata dei dati”*, Facoltà di economia e commercio, Università di Napoli.
 21. Mantelli F. e Temporelli G. (2007), *“L'acqua nella storia”*, Franco Angeli editore.
 22. Passarin K. (2004), *“Dispense analisi di regressione”*, Corso di Analisi dei Dati A.A. 2004/2005, Università degli Studi dell'Insubria, Facoltà di Economia
 23. Podani J. (2007) , *“Analisi ed esplorazione multivariata dei dati in ecologia e biologia”*, Liguori Editore.
 24. Prinari F. (2007), *“Statistica Descrittiva per il corso di laurea in biologia”*, Dipartimento di Matematica, Università di Lecce.
 25. Pulina G. (2004), *“Appunti di statistica”*, Dipartimento di Scienze Zootecniche, Corso di laurea in Scienze Zootecniche (A.A.2003-04), Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Sassari.
 26. Rencher, A.C. (2002), *“Methods of multivariate analysis”* (second edition), Wiley-Interscience.
 27. Tortora G.J., Funke B.R., Case C.L., *“Elementi di microbiologia”*, Pearson Paravia Bruno Mondadori Editore.
 28. Turini F. (2006), *“Analisi dei dati”*, Informatica Umanistica, Dipartimento di Informatica, Università di Pisa.
 29. Vita M. (2002), *“Piano stralcio per la difesa dal rischio idrogeologico”*, Suolo e Acqua, vol.2, aggiornamento settembre 2006, Collana Editoriale “Studi e Ricerche” dell'AdB, dicembre 2002, cap.2, pp. 39-90 .
 30. Vita M., Gerardi M., Lo Vecchio G. (2009), *“La gestione della risorsa idrica in Basilicata”*, Suolo e sottosuolo, Quarry and Construction, settembre 2009, Edizione PEI, pp. 51-60.
 31. Volterra L.(1992), *“Le acque potabili dall'attingimento all'utilizzo”*, Rovigo, 18-20 marzo 1992, PICCIN Editore.



NUOVA SERIE - N. 2013