

UNIVERSITÀ DI BOLOGNA  
SCUOLA DI SCIENZE AMBIENTALI

*Corso di laurea magistrale in Analisi e Gestione dell'ambiente*

# Valutazione della qualità delle acque del fiume Marecchia

Tesi di laurea in Idrologia Ambientale

Relatore

Prof. Enrico Dinelli

Presentata da

Elena Righetti

III sessione

Anno accademico 2013/2014

# INDICE

<b>1. Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>2. Inquinamento delle acque</b>	<b>3</b>
2.1 Chimica delle acque.....	3
2.1.1 Trasporto di un inquinante.....	5
2.2 L'azoto e i suoi composti.....	7
2.3 Normativa sulle acque.....	13
2.2.1 Direttiva nitrati.....	23
2.3 Trattamento acque.....	25
<b>3. Caratterizzazione dell'area di studio</b>	<b>31</b>
3.1 Geologia della conoide.....	32
3.2 Aree protette e rete natura 2000.....	36
3.3 Idrologia del territorio.....	40
3.3.1 Acque superficiali .....	41
3.3.2 Acque sotterranee.....	43
<b>4. Materiali e metodi</b>	<b>47</b>
4.1 Dati considerati.....	47
4.1.1 Acque sotterranee: dati Arpa.....	47
4.1.2 Acque superficiali: dati Arpa.....	48
4.1.3 Acque superficiali: dati acquisiti.....	50
4.2 Metodi.....	51
4.2.1 Spettrofotometro.....	51
4.2.2 Assorbimento atomico.....	53
4.2.3 Cromatografia ionica.....	57
4.2.4 Software .....	58

<b>5. Risultati</b>	<b>61</b>
5.1 Acque superficiali: dati ARPA.....	61
5.1.1 San Leo: primo punto di campionamento ARPA.....	62
5.1.2 Ponte Verucchio: secondo punto di campionamento ARPA.....	66
5.1.3 Santarcangelo di Romagna: terzo punto di campionamento ARPA.....	71
5.1.4 Cascata di via Tonale: quarto punto di campionamento ARPA.....	75
5.2 Acque sotterranee: dati ARPA.....	80
. 5.3 Acque superficiali: dati acquisiti.....	85
<b>6. Conclusioni</b>	<b>99</b>
<b>7. Bibliografia</b>	<b>101</b>

# 1 Introduzione

Una valutazione dello stato delle acque del fiume Marecchia, o Ariminus, da cui deriva il nome della città di Rimini o a cui essa ha dato il nome nell'antichità, è fondamentale, in quanto esso provvede a rifornire i 3/4 della cittadinanza riminese.

Le falde del Marecchia, infatti, sono la fonte primaria di acqua ad uso domestico e industriale, previo trattamento di potabilizzazione ad opera dei depuratori del comune di Rimini, e forniscono costantemente 30 milioni di mc/anno alla nostra città, mentre la parte restante viene prelevata dalla diga di Ridracoli, che però riesce a garantire solo 11 milioni di mc/anno nel periodo invernale e 8 milioni di mc/anno nei mesi estivi. (Boarelli, 2012)

In questo lavoro di tesi si studieranno le acque superficiali del fiume Marecchia che sono continuamente monitorate da ARPA allo scopo di mantenere l'ambiente acquatico in buono stato. I fiumi, durante il loro corso, entrano in contatto con numerose specie chimiche erose dalla rocce durante il passaggio dell'acqua oppure provenienti da prodotti sversati direttamente nel fiume, che possono essere trasportati e diffusi in altre matrici ambientali provocando gravi alterazioni.

Le acque sotterranee, invece, spesso non vengono interessate da interventi di origine antropica o naturale, ma talvolta possono subire danni notevoli da parte dell'uomo, a causa degli scarichi in falda e del loro sovrasfruttamento, che può dare origine al fenomeno dell'intrusione salina.

È molto importante monitorare regolarmente anche le acque sotterranee per evitare dei danni alla salute dell'uomo e all'ambiente, ed è per questo motivo che vengono raccolti campioni dai pozzi da analizzare da parte di Arpa e Romagna Acque.

Per comprendere più nel dettaglio come l'acqua di falda può entrare in contatto con qualsiasi tipo di inquinante si è ritenuto opportuno descrivere brevemente, dal punto di vista fisico-chimico, cosa succede nel sottosuolo.

Una particolare attenzione è stata riposta nell'analisi dell'azoto e dei suoi composti, poiché nella conoide del Marecchia si è sempre osservata una forte presenza di questo tipo di composti, che negli anni hanno causato forti danni all'ambiente.

Queste sostanze, purtroppo, possono accedere alle acque del fiume per infiltrazione, lisciviazione o scarico diretto, dovuto al forte uso di concimi e fertilizzanti nelle zone agricole, oppure agli scarichi diretti di industrie o effluenti di aziende agricole.

Dal punto di vista legislativo i nitrati di origine agricola sono normati dalla direttiva 91/676/CEE meglio nota come Direttiva nitrati, che ha il compito di mantenere entro i limiti di legge la loro concentrazione per evitare l'insorgere di numerosi problemi per l'ambiente e per l'uomo.

Fino ad una ventina di anni fa il problema delle alte concentrazioni in falda era esteso a tutta la conoide del Marecchia, mentre oggi si è rilevato solo in particolari zone che verranno prese in esame nei capitoli successivi.

Durante la valutazione delle acque fiume Marecchia si è deciso di prelevare e ad analizzare anche alcuni campioni direttamente da uno dei suoi affluenti più importanti, l'Ausa.

Quest'ultimo nasce dalle colline della Repubblica di San Marino e viene fatto congiungere al deviatore del Marecchia a monte del Parco XXV Aprile: uno dei punti di campionamento di acque superficiali e sotterranee. Durante il suo corso all'interno di tale stato vi si immettono una serie di piccoli affluenti, fra cui il Rio, il Fiorina e il Ranco; una volta entrato nel territorio riminese, invece, riceve l'acqua di due affluenti: il fosso Budriale e il torrente Ausella. Il tratto finale del torrente è stato deviato attraverso la costruzione di sponde di cemento e fatto riunire al Marecchia; è interessante osservare il suo stato e in che modo potrebbe influenzare la qualità dell'acqua del fiume Marecchia.

Questo fiume, infatti, è patrimonio del nostro territorio: per poter beneficiare di una risorsa così preziosa per la vita dell'uomo e necessaria alla conservazione degli habitat è indispensabile conoscere lo stato delle acque del fiume Marecchia per migliorarne la qualità.

## 2. Inquinamento delle acque

Si parla di inquinamento delle acque quando si fa riferimento all'introduzione di una o più sostanze estranee all'ambiente, con differente solubilità, che alterano la composizione chimica dell'acqua causando numerosi danni alla vita acquatica e alla salute umana.

### 2.1 Chimica delle acque

Per questo il D.L 152/99 ha stabilito che venissero valutati una serie di parametri chimico -fisici per stabilire la qualità dell'acqua destinate al consumo umano.

Di seguito verranno riportate le variabili considerate durante uno studio delle acque.

- a) Azoto: esso è uno dei principali elementi del terreno, fonte di danni agli organismi viventi; solitamente si trova nelle acque sottoforma di nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), ma talvolta anche in forma molecolare di azoto disciolto ( $\text{N}_2$ ), ammoniaca ( $\text{NH}_3$ )o ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ), o nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ).
- b) Metalli: i principali che si ritrovano nell'ambiente sono: Cd, Cu, Hg,Fe ,Mn ,Zn . Essi si trovano già tutti nell'acqua in piccole quantità, perché sono elementi poco solubili e tendono ad essere adsorbiti facilmente dall'argilla e dal materiale organico presente nel terreno. Possono dare origine a composti poco stabili differenti a seconda della composizione dell'acqua, del potenziale redox e del pH.
- c) Se le acque hanno un pH basico, i metalli possono portare alla formazione di idrati e carbonati poco solubili.
- d) Non metalli: nelle acque vi è una moltitudine di elementi , ma fra quelli considerati per stabilire lo stato delle acque possiamo citare il fosforo. Esso non è un inquinante di per sé, ma è solo indice di una fonte di inquinamento; i suoi composti sono tutti più o meno solubili in acqua e ciò può variare a seconda del pH. Il fosforo però solitamente non si trova in grandi quantità nelle acque, poiché precipita facilmente mineralizzando o può essere adsorbito velocemente dalla parte solida del terreno.

Sostanze organiche: molte di queste sostanze sono già presenti nell'ambiente in piccolissime quantità, mentre altre vengono introdotte da fonti di origine antropica.

- e) Una volta diffusi nell'ambiente, essi possono subire numerosi processi di origine chimico-fisica fra cui precipitazione chimica, degradazione chimica, volatilizzazione , degradazione biologica e adsorbimento. Le sostanze organiche hanno una bassissima solubilità in acqua, quindi tendono a non reagire con altre sostanze e a non diffondersi particolarmente nell'ambiente, purtroppo però la maggior parte sono anche molto tossiche, quindi bastano bassissime concentrazioni di alcune di esse per creare dei grandissimi danni all'ambiente.

- f) pH: il pH delle acque superficiali e sotterranee è influenzato da numerosi fattori, fra i quali le piogge acide che in equilibrio con la CO<sub>2</sub> hanno un pH di 5,6 o persino inferiore, a causa di SO<sub>2</sub> e ossidi di azoto liberi in atmosfera. Queste emissioni hanno origini differenti, ma quelle che causano deposizioni acide (con pH variabile tra i 4.2 e 4.7) sono prodotte da emissioni industriali e dall'estrazione mineraria. Allo stesso modo la presenza di calcare o carbonati può mitigare l'effetto acido degli inquinanti descritti precedentemente, però possono essere molto dannosi per la vita acquatica e portare alla morte. ([www.lenntech.com/water treatment solutions](http://www.lenntech.com/water-treatment-solutions))
- g) BOD<sub>5</sub>: (*biochemical oxygen demand*), misura la richiesta di ossigeno biochimico ovvero la quantità di ossigeno consumata (mg/l) per ossidare la materia organica in 5 giorni. Solitamente si misura il BOD<sub>5</sub> in campioni di acqua prima e dopo un periodo di 5 giorni di incubazione al buio a 20° in presenza di flora batterica. Tale parametro esprime la quantità di sostanza organica biodegradabile presente nei corpi idrici, espresso in termini di quantità di ossigeno necessario a biodegradarla. Valori di BOD<sub>5</sub> intorno a 1 mg/l sono sintomo di acque pulite, da 2-8 mg/l di acque moderatamente inquinate e un valore superiore a 8 si ritrova in acqua potenzialmente molto dannosa.
- h) COD: (*chemical oxygen demand*), misura la quantità di ossigeno utilizzata per l'ossidazione di sostanze organiche e inorganiche contenute in un campione d'acqua a seguito di un trattamento con composti a forte potere ossidante. Il COD dà un' indicazione del contenuto totale delle sostanze organiche e inorganiche ossidabili e quindi della contaminazione antropica. Un alto valore di COD comporta una riduzione dell'ossigeno disciolto nel corpo idrico recettore e quindi una riduzione di capacità di auto depurazione e del mantenimento di forme di vita.
- i) Solidi sospesi: è un parametro che indica la quantità di solidi presenti in sospensione (sedimentabili e non), che possono essere separati tramite mezzi meccanici, come filtrazione o centrifugazione, e determinati per via gravimetrica dopo essiccamento ad una determinata temperatura.
- j) Ossigeno disciolto: è un parametro che indica la concentrazione di ossigeno nell'acqua, quindi la qualità della vita per gli esseri viventi. La solubilità dell'ossigeno dipende da diversi fattori, fra i quali la quantità di sali presenti in soluzione e la temperatura. Basse concentrazioni di ossigeno disciolto portano all'eutrofizzazione degli ambienti acquatici e morte di alcune specie.
- k) Conduttività elettrica: indica la capacità di un campione di acqua contenente dei sali disciolti, di condurre corrente, quindi maggiore è la concentrazione di ioni in soluzione, maggiore è la conduttività.

- l) Durezza: esprime il contenuto totale di ioni calcio e magnesio, viene espressa in gradi francesi (°F), dove un grado rappresenta 10 mg/l di CaCO<sub>3</sub> in un litro d'acqua. Non esiste un limite di legge per questo parametro, ma quello che cambia è il gusto dell'acqua, totalmente soggettivo.

### 2.1.1 Trasporto di un inquinante

Quando le sostanze inquinanti finiscono nell'acqua di falda vengono trasportate e diffuse nell'ambiente circostante attraverso numerosi processi chimico fisici.

Uno di essi è la DIFFUSIONE attraverso la quale alcuni costituenti, in forma ionica o molecolare si muovono in un liquido puro in condizioni di flusso statico secondo gradiente di concentrazione. Questo è un processo molto lento e viene descritto attraverso la prima legge di Fick:

$$J = -D_d \times \text{grad}(C)$$

Dove :

J = massa di sostanze che fluisce [L<sup>-2</sup>T<sup>-1</sup>];

D<sub>d</sub> = coefficiente di diffusione [L<sup>2</sup>T<sup>-1</sup>];

C = concentrazione di soluto [moli L<sup>-3</sup>].

il segno negativo davanti al coefficiente di diffusione indica che il movimento del soluto avviene verso valori decrescenti di concentrazione.

Se si fa riferimento, invece, al moto di un inquinante all'interno di un mezzo poroso sotto l'effetto di un'energia cinetica termale, allora si parla di DIFFUSIONE MOLECOLARE descritta dalla formula di Fick adeguatamente modificata:

$$J = -D_d \times \left[ \text{grad}(nC) + \frac{\tau}{V} \right]$$

Dove:

V = volume chimico medio [moli<sup>-1</sup>L<sup>3</sup>]

τ = tortuosità del mezzo poroso

n = porosità del mezzo.

Il secondo processo che coinvolge un inquinante in falda è l'ADVEZIONE attraverso il quale le molecole vengono trascinate dall'acqua sotterranea in movimento che funge da carrier e di conseguenza si muoveranno nella direzione e alla stessa velocità dell'acqua.

La formula che descrive tale processo è la seguente:



$$v = q \div n_e$$

Dove:

$$q = -K \times \frac{dh}{dx}$$

q = rappresenta la velocità del fluido (K= conduttività idraulica [L/T])

$n_e$  = porosità effettiva.

V= velocità del soluto trasformata per la porosità effettiva

Il terzo processo da tenere in considerazione è la DISPERSIONE definita come il movimento meccanico di un inquinante all'interno di un fluido in movimento in un mezzo. Nel caso delle acque sotterranee solitamente si parla di DISPERSIONE IDRODINAMICA che racchiude in sé sia il concetto di dispersione che quello di diffusione. A causa della viscosità delle pareti del canale le particelle di fluido/soluto che si trovano al suo interno si muovono più velocemente di quelle ai lati rallentate dall'attrito che si genera dando luogo alla dispersione, mentre la diffusione molecolare è dovuta al passaggio del liquido all' interno di un mezzo poroso e alla possibilità di seguire vari percorsi.

Il coefficiente di dispersione idrodinamica è espresso attraverso la seguente formula:

$$D = D' + D'_d$$

Dove:

D'= coefficiente di dispersione meccanica;

D'<sub>d</sub> = effettivo coefficiente di diffusione molecolare  $D_d \times n \times \frac{1}{\tau}$  , aumenta con l'aumento della porosità e diminuisce con l'aumento della tortuosità.

La dispersione è un processo che avviene in due modi differenti, entrambi influenzati dal diametro delle particelle e dalla velocità del flusso di advezione e vengono chiamati:

- $D_L$  = dispersione longitudinale che è parallela alla direzione del flusso e aumenta con l'aumentare della velocità e della dimensione delle particelle;
- $D_T$  = dispersione trasversale perpendicolare alla velocità di flusso delle particelle .

Dove :

$$D_L = \alpha_L \times v$$

$$D_T = \alpha_T \times v$$

$\alpha_L$  rappresenta la dispersività longitudinale [L] e  $\alpha_T$  la dispersività trasversale [L]; entrambe sono caratteristiche del mezzo poroso.

Per prevedere quale processo avrebbe potuto influenzare maggiormente il moto dell'inquinante in un mezzo poroso si è ritenuto opportuno utilizzare il NUMERO DI PECLET ( $N_{PE}$ ), ottenuto dividendo il coefficiente di dispersione idrodinamica per il coefficiente di diffusione.

Come si è visto poco sopra  $D$  dipende direttamente dalla velocità di advezione ( $v$ ) e dal diametro delle particelle ( $d_m$ ), quindi possiamo scrivere il numero di Peclet attraverso la seguente formula:

$$N_{PE} = \frac{d_m}{D_d} \times v$$

Dove :

$D_d$  = coefficiente di diffusione.

Sono stati stabiliti da vari studiosi i valori limite entro i quali può essere espresso il numero di Peclet e sono mostrati nella tabella 1 seguente.

Tabella 1 numero di Peclet

Dispersione meccanica	Diffusione e dispersione mecc.	diffusione
$N_{PE} > 8$	$0.02 < N_{PE} < 8$	$N_{PE} < 0.02$

## 2.2 L'azoto e i suoi composti

L'azoto (N) è un elemento molto importante per gli esseri viventi e si può trovare nella biosfera in varie forme, organiche ed inorganiche. Tutti processi che riguardano l'azoto vengono rappresentati solitamente attraverso il ciclo dell'azoto (figura 1) che mette in relazione la biosfera con l'atmosfera.

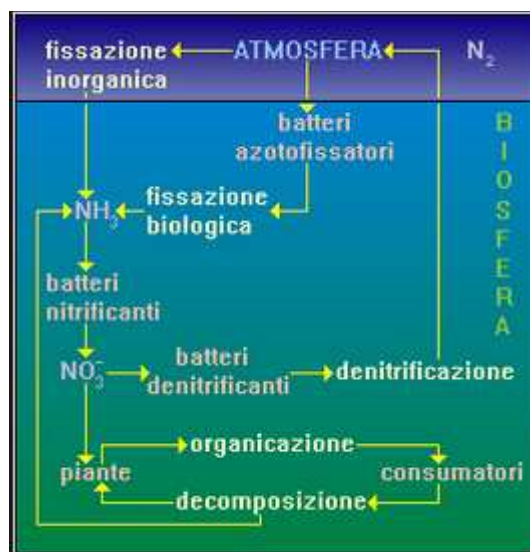
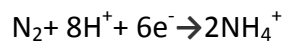


Figura 1 il ciclo dell'azoto([http://venus.unive.it/miche/cicli\\_ecosis/0034.htm](http://venus.unive.it/miche/cicli_ecosis/0034.htm))

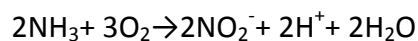
L'azoto molecolare rappresenta circa il 78% dell'atmosfera e diventa disponibile per la biosfera attraverso una reazione di fissazione biologica che lo trasforma in ammoniaca grazie all'intervento di alcuni batteri azoto fissatori. La reazione che avviene è la seguente:



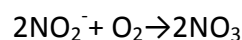
Per aumentare la sua cinetica interviene un enzima da catalizzatore, la nitrogenasi formata da due componenti proteiche: la Fe-Mo- proteina e l'azoto ligasi-reduttasi. (Businelli, 2007)

La reazione di ammonificazione sopra citata però non è l'unica che avviene in natura, infatti anche funghi e batteri presenti nel suolo sono in grado di demolire sostanze organiche complesse in molecole più semplici, quali ammonio e ammoniaca.

Una volta ottenuta l'ammoniaca, grazie alle reazioni precedentemente descritte, avviene la reazione nitrificazione ad opera di altri batteri che converte le molecole appena ottenute in nitriti, fonti di energia per il loro metabolismo. La reazione è la seguente:



Dopo l'ossidazione dell'ammoniaca a nitrito, altri batteri si occupano di trasformare i nitriti in nitrati che è la forma di azoto più facilmente assimilabile per le piante attraverso la reazione che segue:



I nitrati infatti sono più facili da assorbire da parte delle radici delle piante e vengono utilizzati dalle piante per la sintesi di sostanze complesse come proteine e acidi nucleici, indispensabili per la formazione dell'apparato strutturale e le funzioni delle piante.

Esiste un altro tipo di fissazione, definita inorganica, rende fruibile l'azoto per flora e fauna, che grazie all'energia di scariche elettriche, fulmini o radiazioni cosmiche, permette all'azoto di reagire con l'ossigeno o con l'idrogeno dando origine ad ossidi o idrossidi di ammonio, che poi verranno portati via dalle precipitazioni. (Melis, 2012)

Queste reazioni altamente energetiche portano alla formazione di numerosi composti con l'ossigeno, fra cui si annoverano anche numerose molecole importanti per fenomeni potenzialmente dannosi per l'uomo. Infatti la formazione di composti binari con l'ossigeno, volgarmente chiamati NOx (ad es. NO e NO<sub>2</sub>) e delle loro forme radicali possono determinare lo smog fotochimico, un fenomeno di alto impatto ambientale in grado di determinare effetti nocivi sulla salute e gli ecosistemi e indurre danni materiali alle costruzioni. (Zonta, 2003)

Giunti alla fase conclusiva del ciclo, altri batteri, ad esempio gli Pseudomonas, ritrasformano l'ammoniaca o l'ammonio in N<sub>2</sub> attraverso una reazione di denitrificazione.

Il ciclo dell'azoto appena descritto rappresenta in maniera molto generale come sono distribuite le varie forme dell'azoto fra la biosfera e l'atmosfera, ma gli stessi processi avvengono anche tra atmosfera e ambiente acquatico compreso nella biosfera. (Figura 2)

## Ciclo dell'Azoto

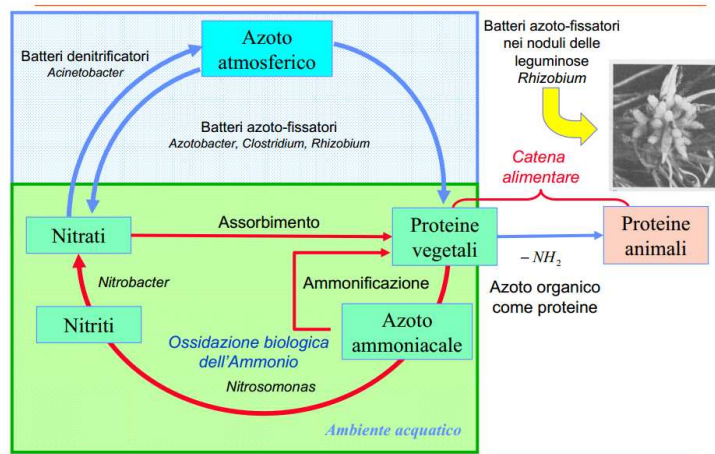


Figura 2 Rappresentazione della distribuzione delle forme dell'azoto fra atmosfera e ambiente acquatico

Un aspetto però da non sottovalutare sono le sorgenti antropiche di azoto che introducono alte concentrazioni di composti nella biosfera e nello specifico nell'idrosfera.

Le fonti che introducono azoto nell'idrosfera si possono suddividere in puntuali e diffuse.

Le sorgenti puntuali di inquinanti azotati sono:

- sistema pubblico di collettamento e di depurazione che comprende:
  1. i depuratori: carichi prodotti dai sistemi di trattamento delle acque reflue (depuratori)
  2. le reti non depurate: parte dei carichi inquinanti che vengono veicolati nella rete fognaria, ma che non subiscono alcun trattamento depurativo prima della loro immissione nel corso d'acqua; (reti no dep)
  3. le eccedenze depurative: quantitativi di inquinante che vengono recapitati direttamente nel corpo idrico superficiale, nel caso venga trasportato all'impianto di depurazione un carico superiore alla sua capacità di progetto (eccedenze)
- scaricatori di piena cittadini: immettono acqua diluita direttamente nei corsi d'acqua durante gli eventi meteorici. Durante i periodi di pioggia questo diventa necessario per contenere le dimensioni dei collettori di valle e perché gli impianti di trattamento delle acque solitamente non sono in grado di trattare efficacemente carichi idraulici elevati (oltre circa 3 volte la portata di tempo secco) e liquami estremamente diluiti. (sfioratori)
- Scarichi in corpo idrico superficiale del settore produttivo/industriale: sono gli scarichi che provengono dalle attività produttive che recapitano i propri reflui direttamente nei corsi d'acqua, dopo un adeguato trattamento depurativo. (industrie)

È stato osservato che il solo contributo degli impianti di trattamento copre circa l' 88% del totale sversato di azoto e del totale di azoto sversato in corpi idrici dell'Emilia Romagna, il 61% risulta essere a carico del bacino del Marecchia. (Severi et al ,2006)

La Tabella 2 riporta le principali cause di sversamento idrico di azoto da fonti di origine antropica per corsi d'acqua della zona riminese. Come si può notare, gli apporti maggiori di azoto nel bacino del Marecchia sono dovuti ai depuratori, mentre per quanto riguarda il sottobacino del fiume Marecchia - mare la contrazione quasi totale di azoto è dovuta agli sfioratori.

**Tabella 2 Carichi di azoto sversati in corpo idrico superficiale per scarichi di tipo puntuale, da fonti presenti nel territorio provinciale, suddivisi in sottobacini (Bortone, 2006)**

Nome Sottobacino	Depuratori (t/y)	Reti no dep (t/y)	Eccedenze (t/y)	Sfioratori (t/y)	Industrie (t/y)	Totale (t/y)
F. RUBICONE - MARE	0	0	0	1.105	1.091	2.196
USO	93.693	2.696	0	1.646	151	98.185
CONSORZIALE BRANCONA	0	0	0	949	820	1.769
SC. BRANCONA - MARE	383	314	1	8.402	3.073	12.172
MARECCHIA	538.506	10.698	1.854	6.155	1.808	559.022
F. MARECCHIA - MARE	0	327	0	21.377	41	21.746
Totale	632.581	14.035	1.855	38.529	5.893	692.894

Le sorgenti diffuse, cioè non georeferenziabili, comprendono invece:

- Fonti di origine civile: carichi di origine domestica derivanti da insediamenti privi di fognatura e case sparse;
- Pratiche agronomiche;
- Fanghi da impianti di depurazione biologici smaltiti in agricoltura;
- Spandimento di deiezioni derivanti dal comparto zootecnico;
- Distribuzione di fertilizzanti chimici;
- Apporti atmosferici

In Tabella 3 sono riportate le i flussi di azoto complessivo sul suolo suddiviso per bacini per l'area riminese. L'apporto di azoto è distinto in base alla fonte: concimazione, mineralizzazione, azoto atmosferico. Altri dati importanti misurati sono stati la superficie del bacino e la densità di azoto: la concentrazione di azoto per ettaro.

Tabella 3 Azoto complessivo sul suolo da apporti naturali e concimazione, suddiviso per bacino (Bortone, 2006)

Codice	Nome Bacino	Concimazione (kg/y)	Mineralizzato (kg/y)	Atmosferico (kg/y)	Incolto (kg/y)	Totale (kg/y)	Superficie (ha)	Densità (kg/y/ha)
1600	F. RUBICONE	12.144	5.319	2.053	828	20.344	228	89
1700	F. USO	184.229	80.100	41.535	23.214	329.078	4.589	72
1800	SC. BRANCONA	46.050	27.471	8.785	2.112	84.419	1.096	77
1900	F. MARECCHIA	558.008	325.671	119.525	42.256	1.045.459	14.020	75
2000	R. MARANO	145.359	87.728	32.068	11.026	276.180	3.538	78
2100	R. MELO	208.519	124.848	41.798	11.710	386.875	4.659	83
2200	F. CONCA	241.125	166.230	63.314	24.679	495.349	6.625	75
2300	T. VENTENA	139.999	96.175	38.359	15.726	290.260	3.994	73
2400	T. TAVOLLO	139.171	94.124	33.826	10.998	278.119	3.810	73
2500	T. SALSO	53.268	47.108	18.017	8.381	126.774	1.802	70
	Altri areali	321.278	179.866	66.029	21.858	589.032	9.006	65
	Totale	2.049.151	1.234.640	465.309	172.789	3.921.890	53.367	73

Osservando i dati sopra riportati, non si può fare a meno di notare come le concentrazioni di azoto del Bacino del fiume Marecchia siano notevolmente superiori alle altre, anche se poi a parità di superficie rimangono nella media.

La specie azotata potenzialmente più pericolosa per l'ambiente e per l'uomo è il nitrito.

Il nitrato è un composto inorganico formato da un atomo di azoto (N) e 3 atomi di ossigeno (O) ed è la base coniugata dell'acido nitrico  $\text{HNO}_3$  con massa molecolare di 62.0049 grammi.

La sua geometria è planare trigonale e comprende un atomo di azoto centrale circondato da tre atomi di ossigeno ed ha una carica formale di -1 data dalla somma delle cariche di ogni atomo. Come la maggior parte dei sali inorganici è solubile in acqua alla temperatura di 25 gradi e pressione di 1 atm, mentre per quanto riguarda la solubilità dei sali di nitrato, essa varia a seconda della temperatura (20°-60°).

Lo ione nitrato è un ammendante del suolo che ha portato ad un forte incremento dell'attività agricola dal 1970 ad oggi, per esempio in Cina i produttori di fertilizzanti ricevono sussidi dal governo e ciò ha portato ad un aumento del 98% del raccolto medio di grano annuo. (Vitousek et al, 2009). I nitrati sono presenti naturalmente nel terreno, nell'acqua e nei vegetali. Sappiamo che si formano da reazioni biochimiche che coinvolgono ossigeno e azoto, ma si possono ottenere anche grazie alle trasformazioni di sostanze organiche quali urea, concimi o ammendanti organici in condizioni di buona disponibilità d'acqua e temperature elevate.

Come si è accennato poco sopra, l'azoto viene trasferito nel suolo a causa dell'utilizzo dei fertilizzanti e una volta nel terreno viene velocemente trasformato in nitrato e dilavato dalle acque meteoriche e dall'irrigazione e trasferiti nelle altre matrici ambientali. Il danno aumenta soprattutto se le quantità di fertilizzanti sono eccessive rispetto al fabbisogno delle piante. I nitrati una volta nel terreno vengono assorbiti da piante e vegetali, che a loro volta vengono mangiate da animali erbivori che poi diventano gli alimenti con cui ci sfamiamo.

L'accumulo di nitrati negli alimenti o nei vegetali dipende principalmente dalla concentrazione nel terreno, cioè dal grado di concimazione adottato, dalla sua permeabilità e dalla composizione e dalla radiazione luminosa che può aumentare la velocità di reazione.

Inoltre i nitrati vengono addizionati agli alimenti per favorirne la conservazione, come per esempio i nitrati di potassio e sodio utilizzati per il mantenimento della carne in scatola e degli insaccati. I nitriti invece non solo impediscono la crescita del batterio sporigeno *Clostridium botulinum*, batterio che provoca la malattia del botulismo, che conduce alla paralisi e potenzialmente anche alla morte, ma vengono aggiunti ai cibi anche perché conferiscono alla carne essiccata il caratteristico sapore e il colore rosa.

L'eccesso di nitrati può costituire un vero pericolo per l'uomo e l'ambiente. Uno dei fenomeni provocati dal rilascio dei nitrati nell'ambiente è l'eutrofizzazione dei corsi d'acqua, delle lagune e dei laghi con conseguente squilibrio dell'ecosistema acquatico e sviluppo delle mucillagini. (Ferrari,2006)

I nitrati possono essere anche molto dannosi per l'uomo che li assume ingerendo qualsiasi tipo di alimento. Di per sé essi non provocano danni, perché sono altamente stabili e non tossici; iniziano, però, a causare problemi quando vengono ridotti a nitriti. Infatti all'interno del nostro organismo, nello specifico nel canale alimentare (bocca, stomaco e intestino), che è ricoperto dalla flora batterica, avviene la reazione di riduzione di più del 20 % di nitrati a nitriti che possono essere la causa di varie malattie.

La metaemoglobinemia (figura 3) è una di esse, in quanto i nitriti essendo agenti ossidanti, trasformano i 4 atomo di  $Fe^{2+}$  dell'emoglobina a  $Fe^{3+}$  che, a causa del suo nuovo stato di ossidazione, si trasforma in metaemoglobina.

La metaemoglobina però non è più in grado di trattenere la molecola di  $O_2$ , causando una riduzione della pressione parziale di ossigeno nel sangue e una riduzione del trasporto di ossigeno ai tessuti.

Ciò può essere dannoso soprattutto per bambini e neonati (blue baby syndrome) che assorbono maggiori quantità di nitriti dall'alimentazione o per soggetti già affetti da patologie cardiopolmonari che possono incorrere in cianosi, cefalea, astenia e dispnea, fino ad arrivare alla morte.

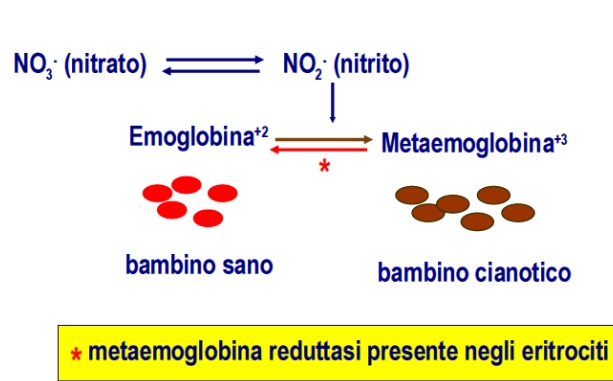


Figura 3 Schema metaemoglobinemia

Inoltre, la dieta ricca di nitriti può causare l'insorgenza del cancro allo stomaco, colon e intestino tenue; infatti i nitriti che, raggiungono lo stomaco, trovandosi in ambiente acido si trasformano in acido nitroso che reagendo con le ammine secondarie delle proteine ingerite durante i pasti (carne, pesce, formaggi), danno origine alle N-nitrosammine classificate dall'AIRC (associazione italiana per la ricerca sul cancro) come cancerogene e dalla FDA (food and drug administration) come uno dei più potenti gruppi di molecole cancerogene mai scoperto.

Ad ogni modo ci sono numerosi enti che hanno il compito di controllare gli alimenti e le bevande, come il Servizio Sanitario Nazionale che si avvale di vari organi a livello locale, mentre per quanto riguarda le analisi di acque sotterranee e superficiali ci si affida ai laboratori di ARPA, Romagna Acque e Hera.

## 2.3 Normativa sulle acque

Legge 10 maggio 1976, n.319

Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento

Questa normativa per prima pone un insieme di limiti e di controlli applicabili a tutti gli scarichi di acque reflue nei corpi idrici per far fronte al problema dell'inquinamento.

L'attuazione di questa legge spetta agli Enti locali, che devono provvedere ai finanziamenti, o ad interventi dello Stato, sulla base dei programmi triennali per l'ambiente o di altre provvidenze.

La legge ha per oggetto:

- la disciplina degli scarichi
- La formulazione di criteri generali per l'utilizzazione e lo scarico delle acque
- L'organizzazione dei pubblici servizi di acquedotto, fognature, depurazione
- La redazione di un piano generale di risanamento delle acque
- Il rilevamento sistematico delle caratteristiche qualitative e quantitative dei corpi idrici.

Allo Stato sono state affidati:

- Funzioni di indirizzo e coordinamento delle attività



- Predisposizione di criteri e metodologie per il rilevamento delle caratteristiche dei corpi idrici
- Redazione del piano di risanamento delle acque
- Indicazione di criteri per un razionale uso dell'acqua
- Determinazione di norme tecniche per l'installazione di impianti di acquedotto, fognatura e depurazione.

Alle Regioni viene affidato il compito di provvedere alla redazione dei rispettivi piani regionali di risanamento acque, la direzione del sistema di controllo degli scarichi e il coordinamento e la verifica di coerenza dei programmi degli enti locali.

Ciascuna provincia infine dovrà avviare la creazione di un catasto di tutti gli scarichi nei corpi d'acqua superficiali e controllare l'applicazione dei criteri generali per un corretto e razionale uso dell'acqua.

La legge è stata successivamente precisata con un'importante normativa tecnica emessa dal Comitato di Ministri per la tutela delle acque dall'inquinamento, che, in particolare, con delibera del 4.2.1977 ha disciplinato:

- criteri generali e metodologie per il rilevamento delle caratteristiche qualitative e quantitative dei corpi idrici per la formazione del catasto degli scarichi;
- criteri generali per il corretto e razionale uso dell'acqua;
- norme tecniche generali per la regolamentazione dell'installazione e dell'esercizio degli impianti di acquedotto;
- norme tecniche generali per la regolamentazione dell'installazione e dell'esercizio degli impianti di fognatura e depurazione;
- norme tecniche generali per la regolazione dello smaltimento dei liquami sul suolo e nel sottosuolo; per la regolamentazione dello smaltimento dei fanghi residuati dai cicli di lavorazione e dai processi di depurazione; sulla natura e consistenza degli impianti di smaltimento sul suolo o in sottosuolo di insediamenti civili di consistenza inferiore a 50 vani o a 5.000 mc.

## D.L.vo 11 maggio 1999, n.152

Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento

Il presente decreto ( modificato con il successivo D.L. 18 agosto 2000, n.258), si propone di definire la disciplina generale per la tutela delle acque superficiali, marine e sotterranee, perseguendo i seguenti obiettivi:

- Prevenire e ridurre l'inquinamento e attuare il risanamento dei corpi idrici superficiali;
- Conseguire il miglioramento dello stato delle acque e adeguate protezioni di quelle destinate a particolari usi;
- Perseguire usi sostenibili e durevoli delle risorse idriche, con priorità per quelle potabili;
- Mantenere la capacità naturale di autodepurazione dei corpi idrici, nonché la capacità di sostenere comunità animali e vegetali ampie e ben diversificate.

Per raggiungere tali fini, il presente decreto individua degli obiettivi di qualità. Tali obiettivi sono di due tipi:

1. Di qualità ambientale: correlati alla potenzialità della risorsa idrica di mantenere le sue caratteristiche e di migliorarle attraverso i processi naturali di autodepurazione.

2. Di qualità per specifica destinazione, relativi alle acque superficiali destinate alla produzione di acque potabili, per le acque di balneazione, per le acque dolci destinate alla vita dei molluschi. Alle regioni è affidato il compito di identificare, entro il 31 Dicembre 2001, per ciascun corpo idrico significativo, la classe di qualità.

I corpi idrici dovranno essere individuati all'interno delle seguenti categorie:

- Corsi d'acqua superficiali,
- Laghi,
- Acque marine costiere,
- Acque di transizione,
- Corpi idrici artificiali,
- Acque sotterranee.

Per ciascuna di queste zone, nei rispettivi allegati, vengono fornite tutte le indicazioni per la definizione del rispettivo stato di qualità, nonché le frequenze di monitoraggio dei parametri chimici e microbiologici utilizzati per la classificazione.

Viene fissato un orizzonte temporale intermedio (31 Dicembre 2008), entro cui tutti i corpi idrici classificati, o almeno parte di essi, devono conseguire l'obiettivo di "Sufficiente", al fine di conseguire, all'orizzonte temporale 31 Dicembre 2016, l'obiettivo di qualità corrispondente allo stato di "Buono".

E' consentito alle regioni di stabilire livelli di qualità inferiori a quelli previsti qualora ricorrano delle condizioni particolari; tuttavia la definizione di obiettivi meno rigorosi non deve causare l'ulteriore deterioramento del corpo idrico, né incidere negativamente sugli obiettivi degli altri corpi idrici presenti nel bacino.

Il nucleo delle disposizioni più strettamente attinenti alla tutela dei corpi idrici e, in stretta connessione, alla disciplina degli scarichi, è contenuto nei capi II e III del titolo III. La tutela quantitativa della risorsa concorre al raggiungimento degli obiettivi di qualità.

Viene pertanto ribadita l'esigenza della pianificazione del bilancio idrico già espressa dalla L.n. 36/94 e cioè dell'equilibrio costante tra disponibilità della risorsa (nella quantità necessaria al mantenimento degli ecosistemi acquatici, alla capacità di autodepurazione del corpo idrico e al ravvenamento della falda) e i fabbisogni per i diversi usi.

Le concessioni di acqua devono comunque essere compatibili con il minimo deflusso costante del corpo idrico: tutte le concessioni vanno censite ed eventualmente soggette a revisione per garantire il bilancio idrico e l'obiettivo di qualità.

La tutela qualitativa della risorsa si riferisce soprattutto alla disciplina generale degli scarichi conservando l'obbligo del rispetto dei limiti di accettabilità fissati negli allegati, per tutti gli scarichi secondo lo schema già previsto dalla legge Merli. I vari articoli stabiliscono sia l'obbligo e i tempi di adeguamento degli agglomerati urbani di dotarsi di reti fognarie secondo la disciplina comunitaria, sia la disciplina degli scarichi differenziata a seconda del corpo idrico ricettore: sul suolo, nel sottosuolo e nelle acque sotterranee, in acque superficiali, in corpi idrici ricadenti in aree sensibili, in reti fognarie. Viene superata in tal modo la normativa contenuta dalla legge Merli che distingue prevalentemente a seconda della provenienza degli scarichi, cioè tra gli scarichi da insediamenti

produttivi e gli scarichi da insediamenti civili presupponendo una diversa qualità delle acque di scarico in relazione alla provenienza.

Le regioni in funzione del perseguimento degli obiettivi di qualità e tenendo anche conto del carico massimo ammissibile per ciascun corpo idrico, possono prescrivere limiti diversi da quelli statali, fissando una diversa concentrazione massima, ovvero limiti della quantità massima per unità di tempo per ciascuna sostanza inquinante.

Sono normalmente vietati gli scarichi nel suolo ad eccezione delle cosiddette case sparse e degli scarichi di acque reflue urbane impossibilitate a recapitare in corpi idrici superficiali. Gli scarichi esistenti hanno tre anni di tempo per adeguarsi ai nuovi divieti. Sono altresì vietati quelli nel sottosuolo e nelle acque sotterranee ad eccezione di casi particolari, come ad esempio gli scarichi nella stessa falda di acque utilizzate per scopi geotermici, delle acque di infiltrazione di miniere e cave, delle acque risultanti dall'estrazione di idrocarburi, etc. Per la misurazione e la disciplina degli scarichi vanno rispettate le regole dettate dalla presente legge.

### Piano di Tutela delle Acque Regionale

Il Piano di Tutela delle Acque (PTA) della Regione Emilia-Romagna ha il fine di migliorare la qualità ambientale delle acque interne e costiere. Inoltre questo piano serve a garantire un approvvigionamento idrico sostenibile nel lungo periodo. Il PTA è stato redatto ai sensi del D.Lgs. 152/99 e s. m. i. e recepisce la Direttiva Europea 2000/60/CE (Direttiva Quadro sulle Acque).

La redazione del PTA è stata accompagnata da un processo di valutazione ambientale strategica (VAS).

Le principali misure del PTA sono le seguenti:

- Rispetto del deflusso minimo vitale (DMV);
- Risparmio e razionalizzazione dei prelievi e dei consumi idrici;
- Riutilizzo dei reflui a scopi irrigui;
- Collettamento agglomerati urbani principali (> 2000 AE);
- Collettamento agglomerati urbani minori (> 200 AE);
- Trattamento spinto del fosforo;
- Trattamento spinto dell'azoto;
- Disinfezione estiva depuratori;
- Vasche di prima pioggia;
- Contenimento spandimenti zootecnici;
- Applicazione delle migliori tecniche disponibili (BAT);
- Rinaturalizzazione fluviale;
- Azioni aggiuntive di mitigazione;

Il PTA ed il rapporto ambientale di VAS sono stati approvati in via definitiva con Delibera n. 40 dell'Assemblea Legislativa il 21 dicembre 2005 (BUR - Parte Seconda n.14 del 1 febbraio 2006).

### Piano di indirizzo

Il Piano di Indirizzo rappresenta lo strumento di attuazione delle Norme del Piano di Tutela delle Acque regionale. Secondo la normativa nazionale, D.Lgs. 152/2006, Art. 113, Parte III, alle Regioni,

previo parere del Ministero dell'Ambiente, spetta il compito di disciplinare le acque di prima pioggia.

La Regione Emilia-Romagna ha provveduto in tal senso con le seguenti Deliberazioni:

**Delibera di Giunta Regionale n. 286 del 14/02/2005** - Direttiva concernente indirizzi per la gestione delle acque di prima pioggia e di lavaggio aree esterne.

**Delibera di Giunta Regionale n. 1860 del 18/12/2006** - Linee Guida per la gestione acque meteoriche di dilavamento e acque di prima pioggia in attuazione della Deliberazione G.R. n. 286/05.

Il Piano di Indirizzo rientra nella Pianificazione d'Ambito del Servizio Idrico Integrato ed è strumento di attuazione del Piano di Tutela delle Acque (PTA per il conseguimento degli obiettivi di qualità dei corpi idrici significativi e di interesse. ).

I piani urbanistici comunali, i piani di settore e gli altri strumenti di programmazione coinvolti nell'attuazione delle presenti norme e misure devono adeguarsi alle prescrizioni del presente Piano. Il Piano di Indirizzo rappresenta lo strumento di attuazione del complesso di misure relative alla disciplina delle acque meteoriche di dilavamento e delle acque di prima pioggia ed ha come obiettivo principale quello di ridurre il carico inquinante apportato dalle stesse al reticolo scolante. In particolare, il programma di misure previsto dal PTA regionale per il conseguimento degli obiettivi di qualità ambientale dei corpi idrici superficiali ha individuato, fra le misure obbligatorie, l'adozione di specifici sistemi di gestione delle acque di prima pioggia, derivanti dalle reti fognarie degli agglomerati di consistenza superiore a 20.000 Abitanti Equivalenti che consentano di ridurre il carico sversato nei corsi d'acqua del 50% alla scadenza temporale del 2016.

Per gli agglomerati ricadenti nella fascia compresa nei 10 km dalla linea di costa, tali percentuali sono aumentate del 20% per salvaguardare la qualità delle acque marino-costiere a fini ricreativi (balneazione). Infine, per gli agglomerati di consistenza fra i 10.000 ed i 20.000 A.E., l'obiettivo da raggiungere è una riduzione del carico inquinante di almeno il 25% entro il 2016.

Tali abbattimenti si devono intendere rispetto ad uno stato "zero" corrispondente ad un sistema fognario privo di invasi.

### Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI)

Il Piano Stralcio di Bacino per l'assetto Idrogeologico (PAI), adottato dal Comitato Istituzionale con Deliberazione n. 2 del 30 marzo 2004, disciplina attraverso le relative Norme di attuazione i settori funzionali della pericolosità e del rischio idrogeologico e l'ambito territoriale dei versanti e dei corsi d'acqua. Il PAI ricomprende gli ambiti territoriali di rischio idrogeologico già individuati nel Piano Straordinario approvato dal Comitato Istituzionale (settembre 1999).

Il PAI è rivolto agli altri strumenti di pianificazione e programmazione territoriale, settoriale e urbanistica, che ne attuano i contenuti. I progetti di nuove opere viarie e tecnologiche devono risultare compatibili con le finalità degli ambiti PAI.

## Piano territoriale Regionale (PTR)

Il Piano Territoriale Regionale (PTR) rappresenta il disegno strategico di sviluppo sostenibile del sistema regionale e, a tal fine, costituisce il riferimento necessario per l'integrazione sul territorio delle politiche e dell'azione della Regione e degli Enti locali.

Il PTR è stato approvato dall'Assemblea Legislativa con delibera n. 276 del 3 febbraio 2010 ai sensi della legge regionale n. 20 del 24 marzo 2000 così come modificata dalla legge regionale n. 6 del 6 luglio 2009. Il PTR è predisposto in coerenza con le strategie europee e nazionali di sviluppo del territorio.

I valori paesaggistici, ambientali e culturali del territorio regionale sono oggetto di specifica considerazione nel Piano Territoriale Paesistico Regionale (PTPR) che è parte integrante del PTR.

Il PTR definisce indirizzi e direttive per le pianificazioni di settore, per i Piani Territoriali di Coordinamento Provinciali (PTCP) e per gli strumenti della programmazione negoziata.

## Piano territoriale paesistico regionale (PTPR)

Il Piano Territoriale Paesistico Regionale (PTPR) è parte integrante del Piano Territoriale Regionale (PTR) e si pone come riferimento centrale della pianificazione e della programmazione regionale, dettando regole e obiettivi per la conservazione dei paesaggi regionali: influenza le strategie e le azioni di trasformazione del territorio sia attraverso la definizione di un quadro normativo di riferimento per la pianificazione provinciale e comunale, sia mediante singole azioni di tutela e di valorizzazione paesaggistico-ambientale. Gli operatori ai quali il Piano si rivolge sono:

1. la Regione, nella sua attività di pianificazione territoriale e di programmazione generale e di settore;
2. le Province che, nell'elaborazione dei PTCP, assumono ed approfondiscono i contenuti del PTPR nelle varie realtà locali;
3. i Comuni che garantiscono la coesione tra tutela e sviluppo attraverso i loro strumenti di pianificazione generale; gli operatori pubblici e privati le cui azioni incidono sul territorio.

## Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale

Il PTCP coordina e porta a sistema l'insieme delle previsioni dei piani sovraordinati vigenti e definisce prescrizioni, direttive ed indirizzi che dovranno essere osservati dalla pianificazione subordinata (strumenti urbanistici comunali).

Il PTCP, inoltre fissa il quadro di riferimento, in termini conoscitivi e normativi, e stabilisce gli obiettivi prestazionali che devono essere perseguiti dagli strumenti settoriali.

Il nuovo PTCP della Provincia di Rimini è stato approvato dal Consiglio provinciale del 23 ottobre 2008 ed è entrato in vigore il 5 novembre 2008.

Successivamente, con l'approvazione da parte del Consiglio provinciale del 28 marzo 2011 del Documento di indirizzo, è iniziata la fase di estensione del PTCP al territorio dell'alta Valmarecchia con valore di integrazione degli strumenti regionali (Articolo 22 della legge regionale 20/2000).

## Zone vulnerabili a nitrati di origine agricola

Si tratta di aree richiedenti specifiche misure di prevenzione dall'inquinamento da nitrati a seguito della loro particolare vulnerabilità.

Queste aree la cui individuazione è di competenza della Regione sono quelle individuate con Delibera di C.R. n. 570/97 – Approvazione Piano Territoriale Regionale per il Risanamento e la Tutela delle Acque – Stralcio per il comparto zootecnico. All'interno di dette aree si applicano le disposizioni del Programma d'azione regionale per le zone vulnerabili ai nitrati da fonte agricola approvato con DGR n. 1608/2006

### Zone di tutela delle acque superficiali e sotterranee

Si tratta di aree da tutelare dai rischi di inquinamento per la protezione delle acque destinate a consumo umano suddivise in aree destinate alla tutela delle captazioni e derivazioni del pubblico acquedotto distinte in:

- Zone di tutela assoluta (art. 94 comma 3 D.Lgs.152/06)
- Zone di rispetto (art. 94 comma 4 D.Lgs.152/06)

Queste aree, in attesa della Direttiva regionale che stabilirà i criteri per la delimitazione spaziale, sono individuate in 10 metri di raggio (zona di tutela assoluta) e 200 metri di raggio (zona di rispetto) dalla captazione o derivazione. In queste aree in attesa della Direttiva regionale valgono i vincoli di tutela previsti dal D.Lgs.152/06 art.94 comma 4.

### Zone di protezione del patrimonio idrico destinato ad uso idropotabile.

Si distinguono in:

- aree di ricarica idraulicamente connesse all'alveo (ARA)
- aree di ricarica diretta della falda (ARD)
- aree di ricarica indiretta della falda (ARI)
- area dei bacini imbriferi dei fiumi Marecchia e Conca (BI)
- porzione di bacino imbrifero immediatamente a monte della presa nel fiume Conca per un'estensione di 10 km<sup>2</sup>

Non sono presenti emergenze naturali della falda destinate ad uso idropotabile. In queste zone di protezione, individuate nella tavola D del PTCP 2007, valgono i vincoli di tutela previsti nelle norme del PTCP 2007.

### Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE

(estratto dal sito del Gruppo 183: <http://www.gruppo183.org/index.asp> )

Gli obiettivi principali della direttiva sulle acque 2000/60/CE si inseriscono in quelli più complessivi della politica ambientale della Comunità che deve contribuire a perseguire salvaguardia, tutela e miglioramento della qualità ambientale, nonché l'utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali e che deve essere fondata sui principi della precauzione e dell'azione preventiva, sul principio della riduzione, soprattutto alla fonte, dei danni causati all'ambiente e sul principio "chi inquina paga".

L'obiettivo di fondo consiste nel mantenere e migliorare l'ambiente acquatico all'interno della Comunità, attraverso misure che riguardino la qualità integrate con misure riguardanti gli aspetti quantitativi.

La Direttiva Acque mira ad ottenere la graduale riduzione delle emissioni di sostanze pericolose nelle acque per raggiungere l'obiettivo finale di eliminare le sostanze pericolose prioritarie e contribuire a raggiungere valori vicini a quelli del fondo naturale per le concentrazioni in ambiente marino di sostanze presenti in natura.

La Direttiva è un passo importante per il miglioramento della gestione delle risorse idriche nel nostro paese, e per lo stato dell'ambiente in generale.

Punti principali della direttiva:

#### 1. Bacini e distretti idrografici

La direttiva 2000/60/CE si propone dunque di istituire un quadro per la protezione delle acque superficiali interne, delle acque di transizione, delle acque costiere e sotterranee che:

1. impedisca un ulteriore deterioramento, protegga e migliori lo stato degli ecosistemi acquatici e degli ecosistemi terrestri e delle zone umide direttamente dipendenti dagli ecosistemi acquatici sotto il profilo del fabbisogno idrico;
2. agevoli un utilizzo idrico sostenibile fondato sulla protezione a lungo termine delle risorse idriche disponibili;
3. miri alla protezione rafforzata e al miglioramento dell'ambiente acquatico, anche attraverso misure specifiche per la graduale riduzione degli scarichi, delle emissioni e delle perdite di sostanze prioritarie e l'arresto o la graduale eliminazione degli scarichi, delle emissioni e delle perdite di sostanze pericolose prioritarie;
4. assicuri la graduale riduzione dell'inquinamento delle acque sotterranee e ne impedisca l'aumento;
5. contribuisca a mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità.

Per ciascun distretto idrografico interamente compreso nel suo territorio, ogni Stato membro provvede a predisporre un Piano di gestione del bacino idrografico (art. 13). Nel caso di distretti idrografici, facenti capo a più Stati membri, ma che siano interamente compresi nel territorio della Comunità, gli Stati membri si coordinano al fine di predisporre un unico Piano di gestione del bacino idrografico internazionale. Il Piano di gestione del bacino idrografico comprende le seguenti informazioni (allegato VII):

- a) Descrizione generale delle caratteristiche del distretto idrografico;
- b) Sintesi delle pressioni e degli impatti significativi esercitati dalle attività umane sullo stato delle acque superficiali e sotterranee;
- c) Specificazione e rappresentazione cartografica delle aree protette;
- d) Mappa delle reti di monitoraggio istituite ai fini dell'articolo 8 e dell'allegato V e rappresentazione cartografica dei risultati dei programmi di monitoraggio;
- e) Elenco degli obiettivi ambientali fissati a norma dell'articolo 4 per acque superficiali, acque sotterranee e aree protette;

- f) Sintesi dell'analisi economica sull'utilizzo idrico prescritta dall'articolo 5 e dall'allegato III;
- g) Sintesi del programma o programmi di misure adottati a norma dell'articolo 11, compresi i conseguenti modi in cui realizzare gli obiettivi di cui all'articolo 4;
- h) Repertorio di eventuali programmi o piani di gestione più dettagliati adottati per il distretto idrografico e relativi a determinati sottobacini, settori, tematiche o tipi di acque, corredato di una sintesi del contenuto;
- i) Sintesi delle misure adottate in materia di informazione e consultazione pubblica, con relativi risultati e eventuali conseguenti modifiche del piano;
- j) Elenco delle autorità competenti in base all'allegato I.

Tutti i Piani di gestione dei bacini idrografici dovranno essere pubblicati entro 9 anni dall'entrata in vigore della nuova direttiva.

Nel corso della riunione dei Direttori delle Acque tenutasi a Copenhagen nei giorni 21 e 22 novembre 2002, si è conclusa la prima fase della Strategia Comune di Implementazione della Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE con l'approvazione delle linee guida e degli strumenti condivisi predisposti dagli Stati Membri dell'Unione Europea, dalla Norvegia e dalla Commissione per supportare e facilitare l'attuazione della direttiva acque. La seconda fase della Strategia Comune d'implementazione della Direttiva prevede l'applicazione di tali strumenti e linee guida in bacini pilota, selezionati tra i bacini idrografici degli Stati Membri e dei Paesi Candidati.

## 2. Obiettivi ambientali

Per attuare i programmi di misure specificate nei Piani di gestione e indicate all'art. 11 della nuova direttiva in relazione alle acque superficiali, alle acque sotterranee e alle aree protette, gli Stati membri devono adottare tutte le misure necessarie ad impedire il deterioramento dello stato di tutti i corpi idrici, superficiali e sotterranei, e devono altresì proteggere, migliorare e ripristinare tutti i corpi idrici, al fine di conseguire un buono stato delle acque superficiali e sotterranee entro 15 anni dall'entrata in vigore della direttiva (art. 4).

Relativamente alle aree protette, gli Stati membri si devono allineare a tutti gli standard e agli obiettivi entro 15 anni dall'entrata in vigore della direttiva.

Entro 4 anni dall'entrata in vigore della direttiva, gli Stati membri devono predisporre, per ogni distretto idrografico, un'analisi delle caratteristiche del distretto, un'analisi dell'impatto delle attività umane sullo stato delle acque superficiali e delle acque sotterranee, nonché un'analisi economica dell'utilizzo idrico (art. 5). Inoltre gli Stati membri dovranno provvedere, entro lo stesso termine, all'istituzione di uno o più Registri delle aree protette di ciascun distretto idrografico per proteggere più efficacemente le acque superficiali e sotterranee o meglio salvaguardare gli habitat e le specie presenti che dipendono direttamente dall'ambiente acquatico (art. 6).

La direttiva prevede inoltre, entro 6 anni dalla sua entrata in vigore, la definizione di programmi di monitoraggio dello stato delle acque nell'ambito di ciascun distretto idrografico al fine di valutare lo stato chimico, ecologico e quantitativo delle acque superficiali e sotterranee (art. 8). Un temporaneo deterioramento delle masse idriche non costituisce infrazione alla direttiva, se è dovuta a circostanze eccezionali e non prevedibili, provocate da un incidente, da una causa naturale o un caso di forza maggiore.



### 3. Politica dei costi per i servizi idrici

La direttiva impone agli Stati membri l'obbligo di adottare misure adeguate a fare in modo che i prezzi dell'acqua riflettano il costo complessivo di tutti i servizi connessi con l'uso dell'acqua stessa (gestione, manutenzione delle attrezzature, investimenti, sviluppi futuri), nonché i costi connessi con l'ambiente e l'impoverimento delle risorse (art.9). A tal fine gli Stati membri dovranno contribuire entro il 2020 a porre a carico dei vari settori di impiego dell'acqua (industria, famiglie e agricoltura) i costi dei servizi idrici, anche sulla base del principio "chi inquina paga".

### 4. Provvedimenti di base e provvedimenti supplementari per la riduzione dell'inquinamento. Informazione del pubblico.

La direttiva inoltre impone agli Stati membri di redigere un programma di misure che tenga conto delle caratteristiche del distretto idrografico, dell'impatto delle attività umane sullo stato delle acque superficiali e sotterranee e dell'analisi economica dell'utilizzo idrico. Le misure sono articolate in "misure di base", (attuative della normativa comunitaria e finalizzate anche al recupero dei costi del servizio idrico e a garantire un impiego efficiente e sostenibile dell'acqua) e "misure supplementari", ossia provvedimenti studiati e messi in atto a complemento delle misure di base, al fine di perseguire gli obiettivi di qualità ambientale di cui all'art. 4. Il dettaglio di tali provvedimenti è contenuto nell'allegato VI, parte B della direttiva in esame. La direttiva attribuisce inoltre grande rilievo all'informazione e alla consultazione pubblica, imponendo agli Stati membri la pubblicazione e la messa a disposizione del pubblico (art. 14):

- a) del calendario e del programma di lavoro per la presentazione del Piano di gestione dei bacini idrografici;
- b) di una valutazione globale provvisoria dei problemi di gestione della acque importanti;
- c) del progetto del Piano di gestione del bacino idrografico, almeno un anno prima dell'inizio del periodo cui il Piano si riferisce.

### 5. Controllo di sostanze particolarmente inquinanti e pericolose. Strategie contro l'inquinamento delle acque sotterranee

La direttiva prevede che il Parlamento europeo e il Consiglio adottino misure specifiche per combattere l'inquinamento idrico prodotto da singoli inquinanti o gruppi di inquinanti che presentino un rischio significativo per l'ambiente acquatico o proveniente dall'ambiente acquatico, inclusi i rischi per le acque destinate alla produzione di acqua potabile (art. 16). Nell'ambito di tali misure la Commissione ha già presentato una proposta contenente un primo elenco di sostanze pericolose prioritarie, tenendo conto della selezione di sostanze potenzialmente pericolose, effettuata nella pertinente normativa comunitaria o nei pertinenti accordi internazionali. Il 20 novembre 2001 la Commissione europea ha presentato una decisione del Parlamento europeo e del Consiglio relativa all'istituzione di un elenco di sostanze prioritarie in materia di acque.

Tale elenco è diventato l'allegato X della Direttiva 2000/60.

Infatti la direttiva quadro introduce a carico della Commissione l'obbligo di individuare le "sostanze pericolose prioritarie" per le quali si preveda di arrestare o eliminare gradualmente gli scarichi, le emissioni e le perdite entro 20 anni. Successivamente all'approvazione dell'elenco da

parte del Parlamento europeo e del Consiglio, la Commissione deve ora elaborare dei criteri comunitari per la rilevazione della qualità dell'acqua e per il controllo delle emissioni delle sostanze interessate. L'elenco di sostanze pericolose adottato dalla Commissione deve essere riesaminato entro 4 anni dalla data di entrata in vigore della nuova direttiva e successivamente almeno ogni 4 anni.

Per le sostanze incluse nell'elenco di priorità, la Commissione dovrà presentare, entro 2 anni dall'inclusione, proposte in materia di controlli per la riduzione progressiva di scarichi, emissioni e perdite delle sostanze interessate e proposte riguardanti gli standard di qualità relativi alla concentrazione delle sostanze prioritarie nelle acque superficiali, nei sedimenti e nel biota. La nuova direttiva prevede inoltre che il Parlamento europeo ed il Consiglio adottino misure specifiche per prevenire e controllare l'inquinamento delle acque sotterranee e finalizzate al perseguimento di un buono stato chimico delle stesse (art. 17).

#### 6. Monitoraggio sull'attuazione della direttiva e correlate abrogazioni

La Commissione UE dovrà monitorare lo stato di applicazione della nuova direttiva, pubblicando una prima relazione entro 12 anni dalla sua entrata in vigore, e successivamente ogni 6 anni.

### 2.3.1 Direttiva nitrati

La direttiva 91/676/CEE del Consiglio europeo del 12 dicembre 1991, meglio nota come Direttiva nitrati, è la normativa comunitaria di riferimento per la protezione delle acque superficiali e sotterranee dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.

Essa rappresenta di fatto uno dei primi strumenti legislativi dell'Unione europea con l'obiettivo di migliorare la qualità delle acque. Com'è noto la direttiva nitrati pone particolare attenzione al bilancio dell'azoto nel terreno e individua per il settore agricolo le norme tecniche relative alla fertilizzazione e alla gestione degli effluenti d'allevamento.

L'azoto infatti, pur essendo un elemento essenziale per la fertilità dei suoli, nella forma solubile di nitrato può comportare il degrado delle acque, causando fenomeni di eutrofizzazione di fiumi, laghi, bacini e rappresentando un fattore di tossicità per l'uomo (specialmente per i bambini) e per gli animali, quando presente in concentrazioni superiori ai 50 mg/l nelle acque destinate al consumo umano.

Gli obblighi che la direttiva nitrati mette in capo agli Stati membri dell'Unione europea sono:

- a) individuare, sulla base della concentrazione di nitrati nelle acque superficiali e sotterranee e del grado di trofia delle acque marine, costiere e di transizione, gli ambiti territoriali denominati zone vulnerabili in cui le attività agricole, in particolare la zootecnia, possono generare o generano nitrati in grado di vulnerare le acque
- b) adottare misure obbligatorie (Programmi d'azione nitrati, PAN) nelle zone vulnerabili al fine di limitare l'inquinamento da nitrati. Tali misure devono comunque assicurare che nelle zone vulnerabili non vengano apportate quantità superiori a 170 kg N/ha per anno di origine zootecnica
- c) aggiornare almeno ogni 4 anni, in considerazione dello stato delle acque, i Programmi d'azione
- d) applicare nelle restanti zone del territorio (zone ordinarie) buone pratiche agricole, atte a prevenire la contaminazione delle acque;

A livello nazionale la direttiva 91/676/CEE è stata recepita con Dlgs 152/99, (abrogato e sostituito dal Dlgs 152/06 Norme in materia ambientale), che introduce il principio dell'attività di utilizzazione agronomica e definisce le procedure amministrative connesse allo svolgimento di tale attività, mediante lo strumento della comunicazione preventiva, da effettuarsi all'autorità competente, a cura del titolare dell'attività, demandando alle Regioni l'emanazione della disciplina specifica sulla base dei criteri e delle norme tecniche generali individuate dal decreto interministeriale Dm 7 aprile 2006. In applicazione di tale decreto, le Regioni hanno provveduto all'emanazione dei Programmi d'azione regionali relativi alle zone vulnerabili da nitrati e, di riflesso, anche alle zone non vulnerabili. La Regione Emilia-Romagna ha individuato le zone vulnerabili da nitrati di origine agricola nel Piano di tutela delle acque, approvato con deliberazione 40/2005 dell'Assemblea legislativa e ha recentemente rinnovato, allo scadere del primo quadriennio di applicazione del PAN precedente (delibera 96/2007, Assemblea legislativa) il proprio Programma d'azione valido per il periodo 2012-2015, emanato con decreto del presidente della Giunta regionale (Regolamento regionale ai sensi dell'articolo 8 della legge regionale 6 marzo 2007, n. 4. Disposizioni in materia di utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue derivanti da aziende agricole e piccole aziende agroalimentari) pubblicato sul Burert n. 161 del 28 ottobre 2011. Tale regolamento, in vigore dal 1 gennaio 2012 al 31 dicembre 2015, fornisce indicazioni operative per l'utilizzazione agronomica dei principali fertilizzanti azotati e, in estrema sintesi, prevede le misure di seguito riportate.

#### 1. Divieti spaziali

- Superfici vietate all'utilizzazione di effluenti di allevamento e altri fertilizzanti azotati in relazione alle condizioni climatiche, alle precipitazioni, alle condizioni del suolo e alle tipologie di colture; in particolare, sono stabilite delle fasce di rispetto in relazione ai corsi d'acqua superficiali per lo spandimento di liquami e letami per evitare che le acque meteoriche e/o di irrigazione dilavino gli effluenti applicati e quindi scorrano nell'alveo producendo inquinamento (5 m lineari dalla sponda dei corsi d'acqua superficiali per i letami e 10 m lineari dalla sponda dei corsi d'acqua superficiali per i liquami)

- limitazioni all'utilizzazione dei liquami e dei letami per superfici in pendenza in caso di rischio significativo di perdite di nutrienti da dilavamento e percolazione.

Divieti di utilizzo su terreni con pendenze medie maggiori al 10% per letami e assimilati (possibilità di superare detta pendenza qualora sia assicurata una copertura vegetale del suolo e l'applicazione di appropriate pratiche per la conservazione del suolo) e al 10% per liquami, con possibilità di incrementi fino al 15% in presenza di misure volte a evitare il ruscellamento e/o di adeguate tecniche di spandimento.

2. Divieti temporali per evitare i rilasci di azoto nelle acque superficiali e sotterranee, per cui l'utilizzazione dei fertilizzanti azotati è vietata nella stagione autunno-invernale, in particolare:

- divieto all'utilizzo di fertilizzanti azotati dal 1 novembre fino alla fine di febbraio in zone vulnerabili (ZVN) e al 31 gennaio in zona ordinaria (in tal caso esclusi i minerali)

- in ZVN periodo minimo di divieto di 90 gg (nov-gen) nel caso di utilizzo di letami e assimilati, e di distribuzione di liquami e assimilati nei terreni con copertura vegetale

- per determinate tipologie di letame e ammendanti, le Province possono consentirne lo spandimento, a esclusione del periodo 15/12-15/01, su terreni in condizioni di non saturazione, su prati con prevalenza di graminacee e in preimpianto su colture orticole.

3. Modalità e capacità di stoccaggio: la capacità utile complessiva dei contenitori di stoccaggio è valutata in funzione della consistenza dell'allevamento, fermo restando che deve essere adeguata alle esigenze di stoccaggio per i periodi di divieto di spandimento. Per gli allevamenti che producono annualmente oltre 1.000 kg di azoto, nelle ZVN la capacità minima dei contenitori di stoccaggio deve essere pari al volume prodotto in 180 giorni per i liquami e i materiali assimilati, e al volume prodotto in 90 giorni per i letami e i materiali assimilati. Nelle zone ordinarie (ZO) tali valori devono corrispondere rispettivamente a 120 e 90 giorni.

4. Criteri per l'utilizzazione agronomica

L'apporto di azoto proveniente dalla fertilizzazione non deve superare i limiti di massima applicazione standard (MAS) per garantire l'equilibrio tra il fabbisogno delle colture e gli apporti. Il quantitativo di azoto al campo da effluente zootecnico non deve comunque essere superiore a 170 kg/ha/anno in ZVN e 340 kg/ha/anno in ZO.

Infine sono definite le tipologie di aziende tenute a elaborare il Piano di utilizzazione agronomica annuale e a effettuare la comunicazione alla Provincia, così come le relative procedure.

Da evidenziare inoltre che la Commissione europea ha concesso all'Italia, con riguardo alle regioni Emilia-Romagna, Lombardia, Piemonte e Veneto, la deroga alla direttiva 91/676/CEE, con riferimento alla facoltà di consentire l'applicazione fino a 250 kg di azoto per ettaro/anno da effluenti bovini e da effluenti suini trattati in aziende agricole in zone vulnerabili da nitrati.

A tal proposito, le aziende zootecniche che intendono beneficiare del regime di deroga, dovranno adottare misure aggiuntive ai Programmi d'azione regionali per massimizzare l'efficienza d'uso agronomica dell'azoto e, comunque, di non aumentare l'inquinamento da nitrati delle acque.

## 2.4 Trattamento delle acque

Il trattamento delle acque reflue è dato dalla combinazione di operazioni unitarie e processi unitari che hanno il compito di ridurre i parametri che alterano la qualità dell'acqua per uso umano e industriale.

La scelta del processo di trattamento e della sequenza di operazioni e processi dipende da vari fattori, quali:

1. caratteristiche del refluo;
2. qualità richiesta dell'effluente;
3. costi e disponibilità per le aree.

I liquami, prima di essere sottoposti a processi di depurazione veri e propri, subiscono dei trattamenti di natura fisica o meccanica che hanno il compito di ottimizzare il funzionamento delle fasi successive.

### 1) Grigliatura

Un processo che consiste nel far transitare il liquame attraverso una maglia (di varie forme e dimensioni) in grado di trattenere i corpi solidi, costituiti in prevalenza da materiale organico, e per rimuovere il materiale galleggiante o sospeso nel refluo in ingresso, in modo da non provocare danni alla apparecchiature.

### 2) Equalizzazione e omogeneizzazione

L' equalizzazione e l'omogeneizzazione sono due processi che prevedono la correzione delle variazioni di portata e le correzioni delle concentrazioni e delle composizioni degli inquinanti. È generalmente richiesto che le vasche di equalizzazione ed omogeneizzazione siano provviste di sistemi di agitazione, allo scopo di impedire la sedimentazione sul fondo di solidi sospesi, e siano aerate nel caso contengano sostanze organiche putrescibili.

### 3) Dissabbiatura e disoleatura

La dissabbiatura si rende necessaria poiché la presenza di sabbie nei liquami può provocare l'abrasione dei componenti (tubazioni, macchinari o apparecchiatura elettromeccaniche) a valle del dissabbiatore e , inoltre, il convogliamento di materiale inerte comporta evidenti rischi di accumulo dello stesso nelle unità di trattamento dei fanghi, riducendone il volume utile.

La rimozione degli oli e dei grassi si rivela di fondamentale importanza in considerazione dell'effetto che queste sostanze producono sui fanghi nelle fasi di trattamento secondario: i grassi aderiscono ai fiocchi e, per la loro tendenza a flottare in superficie, ne ostacolano la sedimentazione; gli oli a loro volta tendono ad involuppare le singole particelle di fango, ostacolando l'adsorbimento nutritivo e lo scambio di ossigeno.

### 4) Nitrificazione e denitrificazione

La rimozione dell'azoto è una fase fondamentale nel processo di depurazione del liquame; infatti questo elemento, combinato nelle sue diverse forme può comportare inconvenienti di varia natura nei corpi idrici ricettori , uno dei più frequenti è l'eutrofizzazione dei ricettori a debole ricambio , in cui peraltro esercita un ruolo importante anche il fosforo.

Tra gli altri problemi connessi alla presenza di azoto troviamo:

- Abbassamento del tenore di ossigeno disciolto nei ricettori, da collegarsi ai consumi dovuti all'ossidazione batterica dell'azoto ammoniacale ad azoto nitroso e nitrico;
- Tossicità dell'ammoniaca per la fauna ittica, quando essa è presente in forma di ammoniaca gassosa  $\text{NH}_4^+$ ;
- Limitazioni agli usi idropotabili per rischi connessi alla presenza di nitrati, che riducendosi a nitriti nell'apparato digerente e combinandosi con l'emoglobina del sangue, bloccano il meccanismo di trasporto dell'ossigeno (cianosi infantile).

Dunque l'azoto ammoniacale, smaltito in un corpo idrico naturale, esercita un'azione tossica e, per i fenomeni di auto depurazione biologica, si ossida con un notevole consumo di ossigeno disciolto, causando quindi un deficit che può essere evitato, operando all'interno dell'impianto di depurazione l'ossidazione dell'ammoniaca a nitrati (nitrificazione) e la riduzione dei nitrati ad azoto elementare (denitrificazione).

#### NITRIFICAZIONE BIOLOGICA

Si intende l'ossidazione dei composti inorganici dell'azoto allo stato ridotto, svolta da batteri autotrofi, in grado cioè di utilizzare per la sintesi cellulare carbonio inorganico ( $\text{CO}_2$ ) e di trarre l'energia necessaria alla crescita ed al metabolismo dall'ossidazione di composti inorganici facilmente ossidabili (nella fattispecie  $\text{NH}_3$  e nitriti), usando l'ossigeno libero come accettore di elettroni.

Nel trattamento delle acque, risultano di pratico interesse i batteri del genere NITROSOMONAS, per l'ossidazione dell'ammoniaca a nitriti, e del genere NITROBACTER per l'ossidazione dei nitriti a nitrati.

#### DENITRIFICAZIONE BIOLOGICA

La rimozione dell'azoto nitrico (e nitroso) può essere condotta per via biologica da popolazioni batteriche di tipo eterotrofo (*Pseudomonas denitrificans*, *Micrococcus*) già abbondantemente presenti nella biomassa in uso per la rimozione del substrato organico. Fermo restando l'utilizzazione del carbonio organico nei processi di sintesi, per la respirazione tali batteri sono in grado di utilizzare come accettori di elettroni sia l'ossigeno libero disciolto sia, in alternativa, i nitrati (ed i nitriti), potendo quindi passare, senza difficoltà di acclimatazione, da condizioni aerobiche a condizioni anossiche.

In presenza contemporanea di entrambi gli accettori, viene comunque preferito un metabolismo aerobico, più favorevole in termini energetici; conseguentemente, la denitrificazione può svilupparsi solo per condizioni rigorosamente anossiche nel microambiente circostante i batteri.

Per lo sviluppo delle reazioni di denitrificazione è indispensabile la disponibilità di un substrato organico biodegradabile che fornisca il carbonio necessario alla sintesi e che funga da donatore di elettroni nei processi dissimilativi di respirazione.

Nel caso di liquami urbani, risulta naturale il ricorso all'elevato contenuto di sostanze organiche in esso presenti (tale fonte di C è detta interna), con il risultato di ottenere, contestualmente alla denitrificazione, la rimozione di una parte dell'inquinamento organico biodegradabile.

#### 5) Sedimentazione primaria

Tale fase è impiegata per separare dal liquame, sfruttando il diverso peso specifico dei componenti, una frazione di solidi sospesi che tendono a depositarsi, con moto più o meno veloce, sul fondo della vasca. All'interno di un impianto la sedimentazione viene utilizzata in quattro diversi stadi:

- Rimozione del materiale inorganico granulare (dissabbiatori);
- Rimozione di solidi sospesi sedimentabili (sedimentatore primario);
- Separazione del fango biologico (sedimentatore secondario);
- Compressione del fango (apparato di ispessimento del fango).

#### 6) Ossidazione biologica a fanghi attivi

Il processo di ossidazione biologica rimuove la sostanza organica secondo meccanismi analoghi a quelli di auto depurazione di un corso d'acqua. La differenza consiste nel fatto che il trattamento ha luogo in apparecchiature costruite appositamente e con concentrazioni molto più elevate, per cui le trasformazioni avvengono con velocità e rendimenti molto maggiori.

L'acqua in uscita viene inviata in un sedimentatore secondario, nel quale viene separata la massa biologica, che in parte viene ricircolata e in parte inviata ai successivi trattamenti.

#### 7) Sedimentazione secondaria

La miscela aerata, dopo la fase di ossidazione, passa nel comparto di sedimentazione secondaria per la quale valgono i concetti generali già espressi a proposito della sedimentazione primaria.

È importante sottolineare che i fanghi decantano con sedimentazione fioccosa, vista la loro tendenza ad agglomerarsi. In tal modo formano delle colonie tanto più facilmente decantabili quanto maggiore è il tempo di contatto, cioè di detenzione all'interno della vasca.

Il liquame rimane a contatto per un certo tempo con il letto di fango, che così ha modo di esercitare su di esso una vera e propria azione di filtrazione. Questo fenomeno è consentito dal fatto che il fango del letto è costituito da particelle da tempo agglomeratesi in fiocchi sufficientemente grossi e tali da essere in grado di "intrappolare" le particelle più minute presenti nel liquame che, diversamente, sarebbero trascinate fino allo sfioro della vasca dal moto liquido ascensionale. In tal modo si ottiene un effetto depurativo molto efficace.

#### 8) Ricircolo dei fanghi

##### CARICO DEL FANGO

Il primo parametro di riferimento è il carico del fango,  $C_f$ , o fattore di carico organico. Esso esprime il grado di sviluppo dei microorganismi che presiedono ai processi di depurazione biologica nutrendosi delle sostanze organiche biodegradabili, sia solubili che insolubili.

##### FANGO DI SUPERO

Il dato relativo alla quantità di fango di supero prodotto è fondamentale ai fini di un corretto dimensionamento dei comparti che seguono nella linea di trattamento dei fanghi. In tutti gli impianti a fanghi attivi, per l'impossibilità dei microorganismi di operare una degradazione completa delle sostanze organiche, e per l'inevitabile presenza delle acque di scarico del materiale di scarico non degradabile, si osserva un accumulo graduale di sostanze che costituiscono il fango

di supero. Questo deve essere periodicamente rimosso per garantire una certa stabilità della concentrazione del fango della miscela aerata in vasca di ossidazione.

#### 9) Rigenerazione dei fanghi

Esiste la possibilità di ricorrere ad un processo di rigenerazione dei fanghi, prima che questi siano ricircolati in vasca di ossidazione biologica.

Quando il fango viene ricircolato dal sedimentatore secondario e rientra in vasca di ossidazione, l'azione di demolizione dei batteri è diretta sia sulla componente organica già inglobata nella biomassa, sia su quella contenuta nel liquame influente.

Questo fenomeno ha luogo grazie al fatto che una parte della biomassa, la componente più esterna, dal fiocco si trasferisce sulle particelle organiche, pressoché prive di componente biologica, in arrivo con l'influente. Tale distacco di biomassa periferica avviene allorché il rapporto  $\frac{\text{SUBSTRATO NUTRITIVO}}{\text{CONCENTRAZIONE BATTERICA}}$  nel fiocco è tale da non soddisfare le esigenze alimentari di tutta la biomassa in modo omogeneo, per cui una frazione di quest'ultima cercherà altrove un valido substrato nutritivo su cui alimentarsi e proliferare.

Il comparto di rigenerazione fanghi, poiché permette un'ulteriore ossidazione biologica, consente di ridurre ancora di più la frazione di massa organica non fagocitata all'interno del fiocco (la massa organica originaria passa dall' 80% al 50%), favorendo un conseguente aumento di biomassa.

#### 10) Controllo di processo con il potenziale redox

Per l'esigenza di contenere i costi di gestione ed aumentare l'efficienza, si è sperimentato con ottimi risultati l'installazione di sonde rilevatrici del potenziale redox, ovvero la capacità di ossidoriduzione dei componenti organici da parte della microflora batterica presente nel fango biologico.

Va precisato che i valori ottimali del redox per la corretta funzionalità del processo biologico di nitrificazione e denitrificazione, devono sempre essere di segno positivo e variano da impianto ad impianto, per cui la taratura viene effettuata sempre confrontando i valori parametrici in uscita ed il comportamento della biomassa attiva nella decantazione finale.





### 3. Caratterizzazione dell'area di studio

Il Fiume Marecchia sorge sulle pendici del Monte Zucca (1263 m s.l.m.) (figura 4), in località Pratieghi (871m), nell'Appennino Tosco-Emiliano ed è lungo circa 70 km. Occupa un bacino imbrifero montano di 665 km<sup>2</sup> con una portata media annua all'ingresso di circa 6 m<sup>3</sup>/s e con una portata media alla foce di 7-8 m<sup>3</sup>/s e sfocia nel mare Adriatico all'altezza della città di Rimini. (Bonzi et al, 2014).



Figura 4 Monte Zucca, località Pratieghi, Appennino Tosco Emiliano e fiume Marecchia ([www.fiumamarecchia.it](http://www.fiumamarecchia.it))

Dal punto di vista geomorfologico e idrologico il fiume Marecchia può essere diviso in due sottobacini:

1. *Montano*: rappresenta il primo tratto e si estende dalle sorgenti del fiume allo stretto di Verucchio ;
2. *Di conoide*: rappresenta il secondo tratto, ha origine nello stretto di Verucchio e si estende fino alla foce.

#### Sottobacino montano

La parte di bacino imbrifero compresa fra le sorgenti del fiume e Ponte Verucchio ha un'estensione di 420 Km<sup>2</sup> ed ha una morfologia tipica di un torrente: sponde instabili e vaste zone circostanti sovralluvionate che sono comprese fra Ponte Baffoni, Ponte Maddalena e Ponte Verucchio . Caratteristiche della zona sono la presenza di strette gole in erosione, le forti pendenze degli affluenti e una singolare *sedimentazione* all'interno dell'alveo che prende il nome di *cross bedding* (stratificazione incrociata) . (Amorosi, 1991)

La parte del sottobacino con un regime torrentizio è caratterizzata da vaste aree di affioramento di argille scagliose autoctone, costituite da una matrice argillosa che tende a suddividersi in piccole scaglie nella quale si trovano immersi frammenti di altri tipi di rocce e sopra le quali si trovano estesi blocchi di calcare alberese, roccia sedimentaria tipica dell'Appennino Tosco Emiliano. Nelle zone di San Marino e Verucchio sono presenti calcareniti e calciduriti. (Ruggeri, 1970)

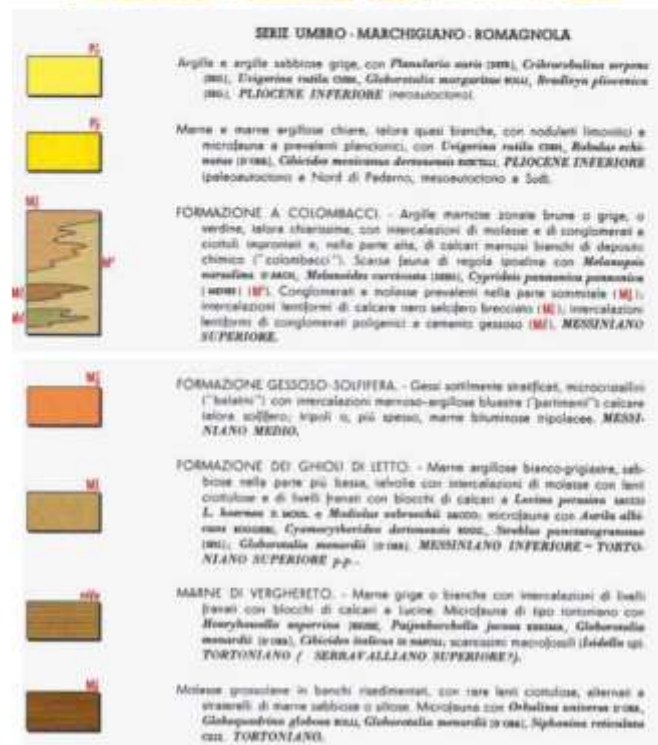
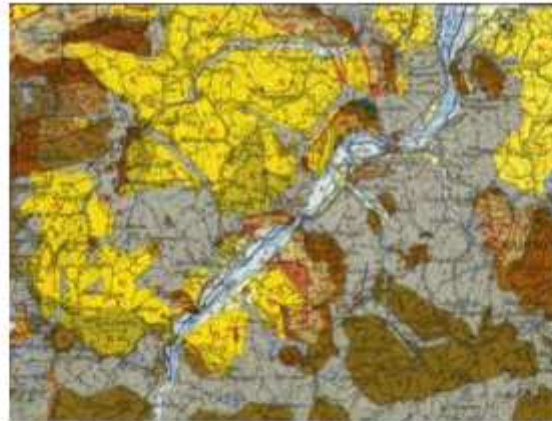


Figura 5 Stralcio della carta geologica d'Italia (1:100.000) (Casini, 2011)

Nel tratto più stabile del sottobacino sono presenti arenarie e conglomerati marini inframezzati da calcari marnosi (figura 5) del Langhiano (15.97 - 13.82 milioni di anni fa), da arenarie e scisti marnoso arenacei dal Tortoniano (11.6-7.8 milioni di anni fa). (Forlani, 1977)

Nel bacino sono presenti anche affioramenti di marne argillose intercalate a sabbia e ghiaie attribuibili al Messiniano (7.24-5.33 milioni di anni fa), argille marnose sabbiose azzurrine del

Pliocene (5.33-2.58 milioni di anni fa) e terrazzi formati da alluvioni ghiaiose sabbioso ciottolose. (Forlani, 1977)

### Sottobacino della conoide

Il secondo tratto del bacino imbrifero, quello che si estende da ponte Verucchio a mare, ha la tipica forma a ventaglio ed è caratterizzato dalla presenza di colline degradanti e pendii che si raccordano perfettamente con il profilo della piana alluvionale. L'eccezione è rappresentata da Verucchio, infatti in quella zona si riscontra ancora una morfologia tormentata dovuta alla presenza di argille scagliose e massi alloctoni. (ARPA, Regione Emilia Romagna, 2002)

Proseguendo verso mare, si nota la presenza di alluvioni dovute ad esondazioni del Marecchia e quelle dei torrenti Uso e Ausa (figura 6) che costituiscono i confini nord e sud della conoide.

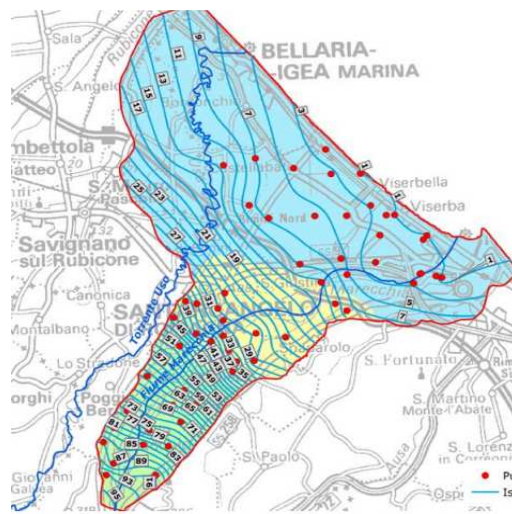


Figura 6 Fiume Marecchia e fiume Uso (Severi, 2014)

Questo tratto del fiume è caratterizzato dalla presenza di canali di scorrimento laterali, numerosi e molto estesi, dovuti al carattere sovralluvionato del fiume causato dalla rottura di pendenza del percorso che provoca la deposizione di materiali pesanti.

Il letto del fiume è basso e ha un tracciato costituito da larghe piaghe alluvionali intervallate da rilievi, dove sono comuni canali incisi dallo stesso. Ad ogni piena, la conformazione morfologica dell'alveo cambia a causa dell'elevata erodibilità delle sponde e dell'elevato trasporto solido da parte della corrente che tende a depositare i materiali dove il letto si allarga o dove si hanno diminuzioni di pendenza. Uno dei fattori che caratterizza questa zona è la forte eterogeneità della distribuzione dei materiali trasportati e depositati dal fiume, sia antichi che recenti, infatti in ogni terrazzo si trovano distribuzioni casuali di ghiaia e argilla.

### 3.1 Geologia della conoide

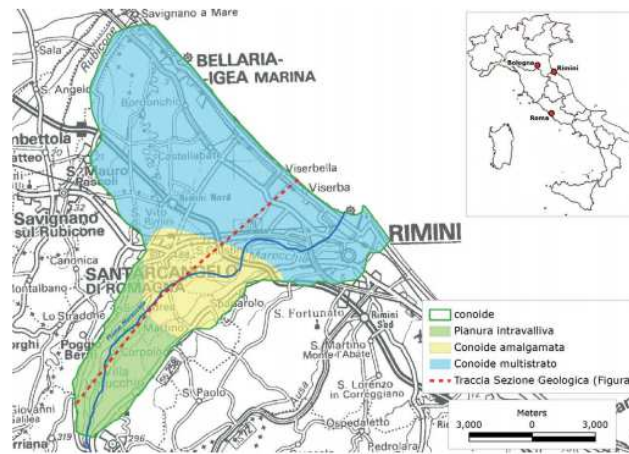


Figura 7 conoide del fiume Marecchia e suoi diversi ambiti (pianura intravalliva, conoide amalgamata e conoide multistrato) (Severi et al, 2014)

Per quanto riguarda la conformazione geologica, come è rappresentato nella figura 7, la conoide può essere suddivisa in tre zone:

1. La pianura intravalliva
2. La conoide amalgamata
3. La conoide multistrato

La prima si estende fino a 10 metri di profondità ed è formata prevalentemente da depositi ghiaiosi appoggiati direttamente sul substrato impermeabile marino; la seconda è costituita in massima parte da ghiaie per uno spessore fino a 80 metri, situate al di sopra della argille marine; mentre la terza è costituita da zone ghiaiose alternate a zone a granulometria fine che possono raggiungere uno spessore di 250 metri sopra i depositi costieri della sabbie di Imola (Severi et al, 2014).

Nella conoide amalgamata si possono osservare ghiaie affioranti o sepolte da sedimenti progressivamente più fini man mano che si procede verso il mare, che sono stati originati dai processi di trasporto di materiale da parte del Marecchia. (Severi et al, 2014)

Procedendo verso mare invece si trova la conoide multistrato che è formata da livelli ghiaiosi estesi che costituiscono i lobi della conoide alluvionale di spessore crescente da mare verso monte, fra i 3 e i 5 metri. Alternati ai livelli precedentemente descritti si trovano delle zone più fini composte da limi sabbiosi, sabbie limose e argille con uno spessore compreso tra i 30 metri nella costa e qualche millimetro a monte. (Severi et al, 2014)

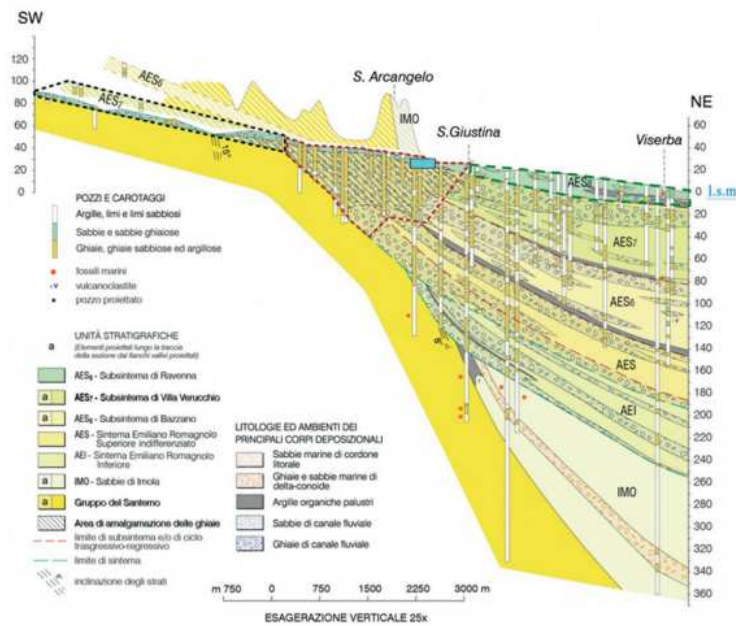


Figura 8 stratigrafia della conoide

La stratigrafia della conoide del Marecchia (figura 8) è stata suddivisa in diverse unità stratigrafiche. La prima, definita dal codice AES e prende il nome di Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore è costituito da affioramenti di depositi alluvionali, deltizi e marini. L'unità si sviluppa anche nel sottosuolo, dove si susseguono cicli trasgressivi e regressivi formati da argille, limi, sabbie e ghiaie di ambiente alluvionale e nella parte costiera si possono trovare anche sabbie litorali. Si estende fino alla unità AEI con uno spessore massimo di 200 ed è suddiviso in 3 subsistemi (AES8, AES7 e AES6).

Il primo sub sistema, identificato con il codice AES8, Subsistema di Ravenna- Subsistema, rappresenta il sub sistema sommitale del Sistema Emiliano Romagnolo Superiore. In esso si riscontrano in affioramento depositi fluviali intravallivi, di piana alluvionale e di piana di sabbia litorale. I depositi sono organizzati in 3 ordini di terrazzi con inclinazione media di 5-6 per mille (Carlini, 2011). Il limite superiore è composto da suoli non calcarei di colore bruno scuro e bruno scuro giallastro di spessore da 0.3 a 1 m e il limite inferiore coincide con una superficie di erosione del fiume . Nel sottosuolo della pianura, invece, si riscontrano depositi argillosi e limosi grigi e grigio scuri arricchiti in sostanza organica di piana inondabile non drenata e limi sabbiosi, limi ed argille bruni e giallastri di piana alluvionale ben drenata con suoli, calcarei e non, al tetto. Questo strato può raggiungere uno spessore di 25 m. (Carlini, 2011)

Il secondo subsistema che si trova a maggiore profondità e confina con lo strato precedentemente descritto, è denominato Subsistema di Villa Verucchio, identificato dal codice AES7. In affioramento si trovano ghiaie di canale fluviale nella piana intravalliva e nella conoide alluvionale organizzate in un terrazzo inclinato del 10 per mille.(Carlini, 2011) Il limite superiore di tale strato è formato da un suolo non calcareo fino a 2 m di spessore di colore bruno scuro e bruno rossastro, mentre il limite inferiore è segnato da una superficie di erosione fluviale .Nel sottosuolo della

pianura si riconosce un ciclo trasgressivo-regressivo costituito da sabbie litorali, argille e limi palustri alla base; limi sabbiosi, limi e argille di argine nella parte intermedia e ghiaie, sabbie di canale e di argine fluviale sulla sommità. Questo strato confina con AES6 e ha uno spessore variabile da 10 m a 80 m.

Il terzo subsintema(AES6), Subsintema di Bazzano, è costituito in affioramento da ghiaie di canale fluviale, limi ed argille di origine fluviale distribuite in un terrazzo inclinato del 18 per mille. Il limite superiore è formato da due suoli non calcarei sovrapposti: uno sviluppato su ghiaie e l'altro su limi e argille, con uno spessore di 5-6 m. Il limite inferiore corrisponde ad una zona di erosione fluviale sotto la quale si trova un ciclo trasgressivo-regressivo formato alla base da argille e limi palustri; limi sabbiosi, limi ed argille di argine nella parte intermedia e una parte sommitale con ghiaie e sabbie di canale ed argine. Può avere uno spessore massimo di 10-15 m in affioramento e 60 m nel sottosuolo di pianura. (Carlini, 2011)

Nella stratigrafia di figura 4 segue una unità identificata dal codice AES e prende il nome di Sintema Emiliano - Romagnolo Superiore e ed costituito da affioramenti di depositi alluvionali, deltizi e marini e si estende fino allo strato AEI con uno spessore massimo di 200.

Il quinto strato è il sintema emiliano -romagnolo inferiore, identificato da codice AEI, ed è costituito prevalentemente da depositi limosi e limoso argillosi di colore grigio azzurrognolo con intercalazioni di livelli ghiaiosi. Si possono trovare anche dei livelli ricchi di sostanza organica e con macrofossili di ambiente continentale (gasteropodi a guscio sottile). (Fattori, 2011)

L'ultimo strato viene identificato con la sigla IMO, Sabbie di Imola ed è composto da arenarie e sabbie di medie a finissime dimensioni, suddivise in strati di vario spessore di solito amalgamati con strati di ghiaia con una forte componente di ciottoli silicei. Si trovano anche intercalazioni di peliti bioturbate con laminazioni ondulate tipo ripples da onda. (Fattori, 2011)

## 3.2 Aree protette e Rete Natura 2000

La rete Natura 2000 è un sistema organizzato di aree (Siti) che ha il compito di garantire la conservazione di habitat naturali e tutelare specie animali particolarmente rari o minacciati ed a tale scopo l'Unione Europea ha formulato due direttive molto importanti:

- 92/43/CEE, Direttiva Habitat;
- 74/409/CEE, Direttiva Uccelli

Queste impongono ai singoli stati di individuare sul proprio territorio i SIC (Siti di Importanza Comunitaria) e ZPS (Zone di Protezione Speciale).

L'individuazione dei Siti in Italia è stata affidata alle Regioni, con il coordinamento del Ministero dell'Ambiente.



Per quanto riguarda la regione Emilia Romagna e nello specifico la provincia di Rimini, sono state individuati i seguenti Siti (figura 9):

1. IT4090001- Onferno;
2. IT4090002- Torriana, Montebello, Fiume Marecchia;
3. IT4090003- Rupi e Gessi della Valmarecchia;
4. IT4090004- Monte S.Silvestro, Monte Ercole e Gessi di Sapigno, Maiano e Ugrigno
5. IT4090005- Fiume Marecchia a Ponte Messa;
6. IT4090006- Versanti occidentali del Monte Carpegna, Torrente Messa, Poggio di Miratoio.

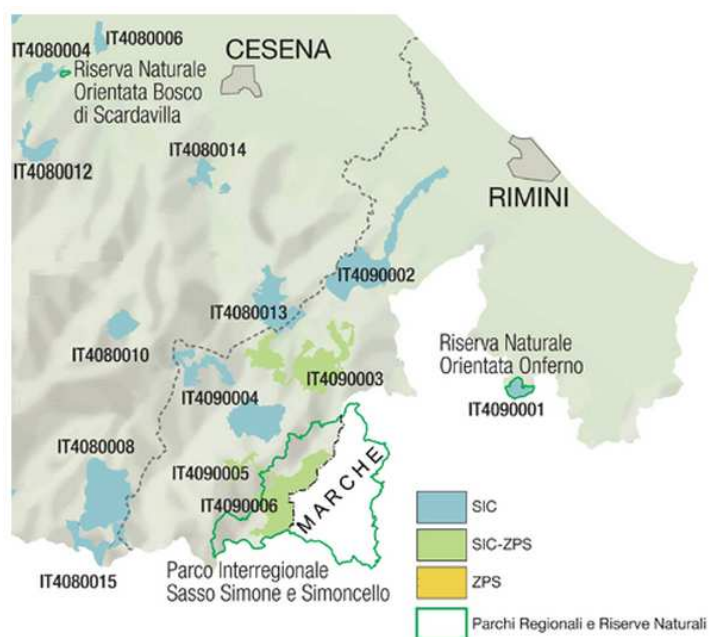


Figura 9 SIC, SIC-ZPS, Parchi Regionali e Riserve Naturali

Di seguito si descrivono con qualche dettaglio tre Siti di Interesse Comunitario che si trovano nella zona di studio presa in esame in questo lavoro di tesi.

Il primo ha il codice IT4090005 e comprende il tratto di fiume Marecchia nella località di Ponte Messa (figura 10). Esso ricopre un'estensione di 265 ettari e interessa i comuni di Pennabilli e Sant'Agata Feltria.

Il fiume Marecchia in questo punto si presenta con un letto ghiaioso molto ampio, a corso semipianeggiante e in cui confluiscono numerosi affluenti tra cui il Rio della Rocca e il Torrente Messa.

La vegetazione di tipo ripariale comprende foreste di salici ,arbusteti e boschi di ontano nero, mentre fra le specie faunistiche si annovera l' *Austropotamobius pallipes*, o gambero di fiume distribuito uniformemente in tutto il sito. (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/parchi-natura2000/rete-natura-2000>)



Questo SIC è stato individuato allo scopo di tutelare l'ambiente ripariale e la ricca popolazione di gambero di fiume poiché le attività estrattive, industriali e artigianali del paese possono essere gravi fonti di danni per l'habitat e le specie autoctone.

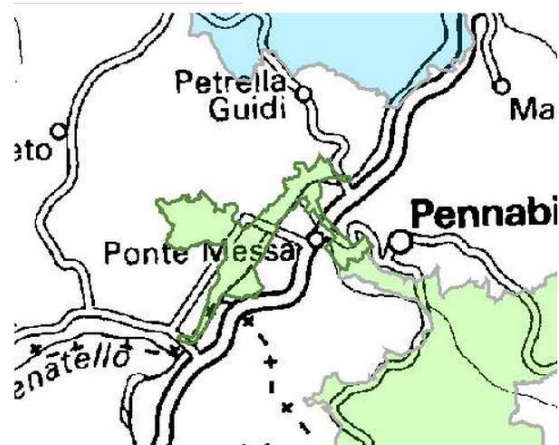


Figura 10 SIC IT 4090005

Il secondo sito di interesse comunitario e zona di protezione speciale è definito dal codice IT4090003 (figura 12), Rupi e gessi della Valmarecchia (figura 11) e si estende per una superficie di 2526 ettari. Interessa la provincia di Rimini per 2504 ettari (comuni di Novafeltria, Talamello, San Leo, Maiolo) e la provincia di Forlì-Cesena per 22 ettari (comune di Mercato Saraceno).

Dal punto di vista morfologico l'area è caratterizzata dalla "Colata gravitativa della Val Marecchia" costituita da un complesso formato per la maggior parte da depositi argillosi trasportati da ovest verso est sui quali si trovano placche di materiale più rigido. Sono diffusi calanchi di origine erosiva sui quali si osserva una vegetazione di tipo alofilo e di affioramenti rocciosi di tipo calcarenitico. La flora tipica di questa zona comprende leccio e sclerofille (osiride e terebinto), faggio, doronico e martagone. Questo sito è stato istituito per garantire la sopravvivenza delle specie animali e vegetali della zona, messa a dura prova dal forte sfruttamento per l'estrazione di inerti (cave).



Figura 11

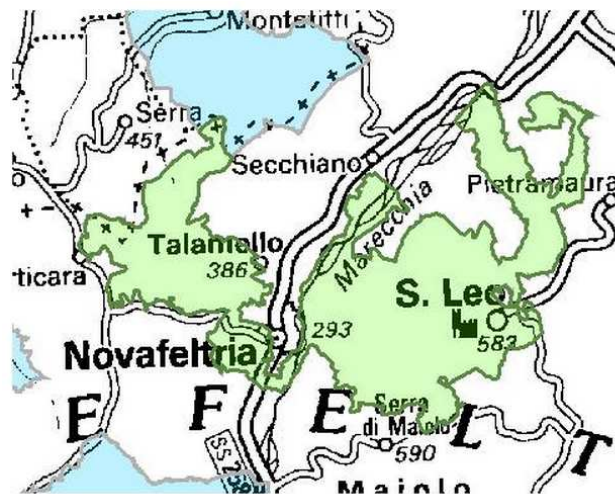


Figura 12 SIC IT409003

Il terzo SIC descritto è definito attraverso il codice IT4090002- Torriana, Montebello, Fiume Marecchia (figura 13), si estende per 2403 ettari ed interessa la provincia di Rimini e i comuni di Poggio Berni, Rimini, Santarcangelo di Romagna, Torriana, Verucchio. Su una propaggine della colata del Marecchia si trova un complesso di argille scagliose sulle quali si osservano rupi calcarenitiche e un affioramento di gesso selenitico con tipica vegetazione. Il corso medio-basso del fiume, invece, è caratterizzato da una vegetazione alveale igro-nitrofila, da boschi umidi, qualche superficie palustre e salici. L'effetto della vicinanza del mare ha determinato una notevole varietà di habitat: rupestri, erbacei, fluviali. Nonostante l'asperità dei luoghi il sito ha un grado di antropizzazione elevato ed è per questo che è stato istituito il SIC, per evitare che l'uomo possa rovinare un paesaggio così ben conservato.



Figura 13 SIC 4090002

### 3.3 Idrologia del territorio

L'acqua è una risorsa essenziale, un bene primario di cui abbiamo bisogno per sopravvivere ed è ormai chiaro a tutti che le società più avanzate consumano più acqua.

Il ciclo idrologico descrive i movimenti dell'acqua ed è un sistema chiuso, quindi la quantità d'acqua rimane costante ma ciò che varia nel tempo, a causa del ciclo idrologico, è la quantità di acqua nei vari corpi idrici (acque superficiali, acqua sotterranee, ghiacciai ,oceani etc..) e la qualità.

Sono numerosi processi che coinvolgono il sistema idrico e che portano alla variazione della distribuzione dell'acqua. Tra questi si segnalano:

- Evaporazione: prevede il passaggio dell'acqua dallo stato liquido allo stato gassoso e si ottiene misurando l'umidità relativa, la temperatura e la radiazione netta;
- Condensazione: prevede il passaggio dell'acqua dallo stato di vapore a quello liquido causato da un abbassamento della temperatura o dall'aumento della pressione;
- Trasporto: prevede lo spostamento di masse d'aria dall'acqua alla terra attraverso il vento, oppure la pressione che causa fronti caldi e freddi;
- Evapotraspirazione: prevede dell'acqua dal terreno all'atmosfera (evaporazione) e quello dalle piante all'atmosfera (traspirazione);
- Immagazzinamento: prevede l'accumulo dell'acqua in varie zone, come le acque superficiali, le acque sotterranee, il suolo etc..
- Infiltrazione: prevede lo spostamento dell'acqua che si trova sul terreno all'interno;
- Ruscellamento: prevede lo scorrimento delle acque piovane sulla superficie del terreno quando la capacità di infiltrazione dello stesso viene superata.

I processi appena elencati sono tutti di origine naturale e a questi si sovrappone l'attività dell'uomo che attraverso svariate azioni ne altera gli andamenti. Tra le azioni più significative si segnalano:

- La deforestazione: fenomeno che aumenta il ruscellamento, diminuisce l'evapotraspirazione, aumenta l'infiltrazione;
- Lo sfruttamento eccessivo della risorsa idrica varia notevolmente la sua disponibilità;
- L'Inquinamento: che impatta considerevolmente la qualità dell'acqua a causa dello sversamento di idrocarburi, solventi , rifiuti direttamente nel corpo idrico o nel suolo.

Tutti i fenomeni sopra citati sono molto importanti, poichè forniscono le informazioni necessarie per capire quali sono le cause dei numerosi problemi legati alla distribuzione della risorsa idrica, come siccità e inondazioni.

Il ciclo idrologico coinvolge vari comparti ambientali fra cui: atmosfera, terra, organismi, ma ciò che risulta più interessante per questo lavoro di tesi sono le acque sotterranee e le acque superficiali.

### 3.3.1 Acque superficiali

Si definiscono acque superficiali quei corpi idrici che scorrono in superficie e comprendono fiumi, laghi, stagni, paludi e le acque dilavanti o non regimentate che scorrono disordinatamente.

Nella descrizione che seguirà si tratterà perlopiù della conoide del fiume Marecchia, che ha inizio dalle parti di Ponte Verucchio e questo perché il tratto precedente del fiume scorre per la maggior parte nel sottosuolo.

Il Marecchia ha un carattere tipicamente torrentizio ed alterna periodi di magra, osservati soprattutto a luglio e agosto e periodi di piena con portate che possono raggiungere i 1000 mc/s. (Brath, 2005)

Il fiume Marecchia, poco prima di Ponte Verucchio, compie due anse aventi raggio rispettivamente di circa 0,7 e 1,7 km, per poi passare al tratto di conoide dove l'alveo si allarga notevolmente passando da circa 100 m ad oltre 200m.

Il tratto del fiume che va da Ponte Verucchio a circa 1 km dal lago Santarini è stato canalizzato e ha una lunghezza di circa 7 km e l'alveo si è ridotto da 600-700m di ampiezza a circa 70m. (Chahoud, 2008)

Da Verucchio il corso del fiume inizia ad essere uniforme , con pendenza modesta, flusso lamianare e quando la pendenza è minima si possono osservare curve e meandri.

Tra Santarcangelo e Rimini il fiume scorre all'aperto e si può riconoscere un'ampia vegetazione arborea caratterizzata da Salice bianco, Pioppo bianco, all'Ontano e Frassino , e arbustiva con Prugnolo, Sanguinello, Biancospino e Ginestra.

Nel tratto da Verucchio a Santarcangelo il fiume ha erose i propri depositi ghiaiosi e le formazioni geologiche sottostanti facendo affiorare un giacimento di fossili fra cui alcune specie di pesci fossili di origine marina.

A circa 1 km dal lago citato prima il fiume segue un percorso di circa 12 km prima di giungere alla foce caratterizzato da una morfologia a canali anastomizzati e braided (figura 14), tipica dei corsi d'acqua a carattere torrentizio.



Figura 14 Morfologia del fiume Marecchia

Il fiume Marecchia, per come lo si può descrivere oggi , è molto diverso da un tempo, infatti il prelievo intensivo di inerti e la costruzione di briglie per impedire gli allagamenti che il fiume provocava a valle hanno portato ad un progressivo abbassamento erosivo dell'alveo fluviale, l'incisione del substrato limoso e la formazione di un profondo canale dritto detto Canyon, profondo anche più di 10 m che inizia a valle di Ponte Verucchio e termina all'altezza di Santarcangelo per una lunghezza di circa 5 km.

Dopo Ponte Verucchio, infatti, dal 1974 al 1990 si sono valutati abbassamenti di circa 7,6 m (0,48 m/y); qui il fenomeno di inalveamento è stato anche coadiuvato dall'estrema erodibilità del substrato argilloso-sabbioso.

La canalizzazione di una buona parte del fiume nel tratto intercollinare ha portato ad una mancata ricarica della falda che non riceve acqua a causa dell'effetto drenante del canyon ed a una forte alterazione degli habitat e del paesaggio.

Lungo il corso del fiume Marecchia sono presenti anche una serie di laghetti, come il lago Santarini e il lago Azzurro, ex bacini di cava , che trattengono una parte dell'acqua che andrebbe ad alimentare il fiume a causa del loro fondo impermeabile argilloso e limoso. La maggior parte di essi, soprattutto quelli a nord di Ponte Verucchio, sono ricchi di vegetazione a canneto e adibiti ad attività venatoria, infatti a causa della loro conformazione morfologica e della costante presenza d'acqua determinano condizioni favorevoli alla presenza di diverse specie di uccelli acquatici fra cui la Garzetta, il Germano Reale e la Folaga.

Questi laghetti sono quasi tutti collegati attraverso fossi e rigagnoli e vengono utilizzati durante le piene invernali e primaverili per recuperare e immagazzinare una buona parte dell'acqua che defluisce a mare , utilizzandole nei mesi estivi a scopo agricolo ed industriale.

### 3.3.2 Acque sotterranee

L'acqua sotterranea è una risorsa molto importante per l'uomo perché viene utilizzata come riserva idropotabile. (ISPRA) Per definizione essa corrisponde all'acqua che si trova immagazzinata nel sottosuolo, nello specifico nei pori fra le particelle sedimentarie e nelle fenditure delle rocce compatte.

Come è stato scritto nel paragrafo 3.1, la struttura del materasso alluvionale è piuttosto eterogenea; infatti l'ampia diffusione di terreni permeabili costituiti da ghiaie e sabbie consente l'infiltrazione e l'accumulo nei vuoti interstiziali del suolo di acqua e inquinanti. Livelli impermeabili determinano la presenza di pozzi artesiani a varia profondità.

A causa della non continuità degli strati orizzontali del terreno si possono anche riscontrare delle condizioni di semiartesianità e di falda libera. (ARPA, Regione Emilia- Romagna, 2002)

In genere si nota che la parte più superficiale del terreno sia formata da un acquifero non confinato, alimentato quasi esclusivamente dal fiume, e per infiltrazione dalle acque piovane dal quale sia i pozzi pubblici che privati emungono acqua.

La richiesta maggiore di acqua si verifica nel periodo estivo, cioè quando unitamente ad un grande incremento della popolazione residente per la presenza turistica, maggiore è la necessità di irrigare e minori sono gli apporti meteorici .

#### BILANCIO IDROLOGICO

La parte medioalta della conoide è la zona di maggior ricarica, da dove entrano acque e inquinanti. La parte più profonda ospita acque più antiche , in alcuni casi risalenti a 50000 anni fa. (Vitali et al, 2013).

Solitamente le acque di questo tipo dovrebbero essere ferme, ma non in questo caso dove a causa dei frequenti prelievi idrici si osservano dei movimenti.

Dal punto di vista idrologico, la piana intravalliva è formata da un acquifero freatico alternato da sporadici episodi di artesianità.

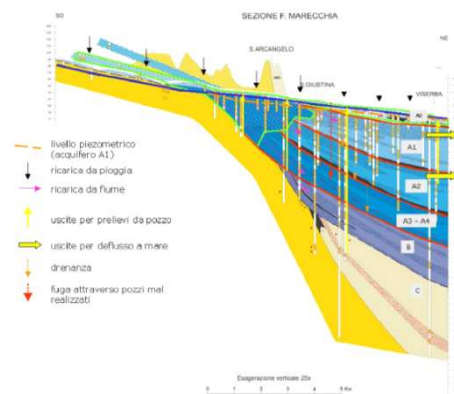
La porzione amalgamata è anch'essa costituita da un acquifero libero che corrisponde alla zona di massima ricarica di tutta la conoide e da cui viene prelevato un volume d'acqua molto significativo, tra cui buona parte di quella necessaria all'approvvigionamento idropotabile. La sua ricarica avviene quasi esclusivamente nelle aree dove le ghiaie della conoide sono affioranti e da quel punto l'acqua defluisce lentamente nel sottosuolo fino a giungere nel complesso sistema di acquiferi confinati nella parte più profonda.

La conoide multistrato è formata da un sistema di acquiferi confinati o semi confinati sovrapposti tra loro. Al di sopra di essi, in diretto contatto con la superficie, è presente un acquifero freatico spesso una decina di m circa, formato principalmente da depositi sabbioso- limosi .



La conoide alluvionale del fiume Marecchia è stata ulteriormente suddivisa in tre gruppi che sono stati definiti con le lettere A,B e C secondo una profondità crescente, come viene riportato nella figura 15.

Il gruppo A è costituito dai sottogruppi A0, A1, A2, A3 e A4, dove da A0 e A1 si preleva circa il 60% dell'acqua che corrisponde a 600-1000 l/s, mentre da A2 ,A3 ,A4 e B circa 400-700 l/s.



**Figura 15** Schema di flusso delle acque sotterranee nella conoide alluvionale del fiume Marecchia. Le linee rosse indicano le diverse unità idrostratigrafiche riconosciute nel gruppo acquifero A. L'area delimitata in verde delimita l'acquifero freatico. tratto da ARPA ingegneria ambientale 2006, le acque di sottosuolo della conoide del fiume Marecchia: analisi quali.. etc.

Per quanto riguarda il livello piezometrico, si ha un massimo di 91 m sopra il livello del mare ed un minimo di 1 m sopra il livello del mare. (Severi et al, 2014).

Nella zona della pianura intravalliva man mano che ci si allontana dal mare il gradiente piezometrico diminuisce e si osserva che la direzione del flusso rimane costante verso N-NE.

È stato osservato che anche la direzione del flusso della conoide amalgamata è sempre NE, mentre la situazione della conoide multistrato risulta essere più complessa. Nella parte settentrionale il flusso ha direzione E-NE e ciò è dovuto alla ricarica da parte dei torrenti Rubicone ed Uso, mentre nella zona tra l'autostrada e la costa il flusso ha direzione NE con alcune variazioni dovute probabilmente ai prelievi. Questa zona, inoltre, è formata da un acquifero libero che funge da zona di ricarica principale e che viene alimentata dal fiume, dalle piogge e dalle perdite dei canali che la attraversano.

#### INTRUSIONE SALINA NELL' ACQUIFERO CONFINATO

Un problema da non sottovalutare è quello dell'intrusione salina nell'acquifero confinato definito con la sigla A1 rappresentato nella figura precedente.

Come si può notare sopra le ghiaie vi è un acquitrino costituito da argille ricche in sostanza organica, cioè una porzione di terreno semipermeabile contenente una quantità d'acqua che viene trasmessa con velocità inferiore a quella dell'acquifero.

L'acquitardo è spesso alcuni metri e si estende senza interruzioni, ma ciò che risulta essere interessante è il fatto che esso separa l'acquifero dalle sabbie della spiaggia attuale che sono in contatto diretto con il mare.

Ciò ha fatto ipotizzare che anche il primo acquifero confinato sia in contatto con le acque del mare e una conferma è emersa dai numerosi dati ottenuti durante il periodo estivo, dove sono stati rilevati forti aumenti della salinità. (Severi et al, 2014).





## 4. Materiali e metodi

In questo lavoro di tesi si analizzeranno tre serie di dati differenti che indicano lo stato delle acque sotterranee e superficiali del Marecchia e del suo affluente Ausa. Per quanto riguarda le acque superficiali sono state esaminate due serie di dati : la prima fornita da Arpa, che tratta il periodo compreso tra il 2000 e il 2013, mentre la seconda è costituita da una serie di dati ottenuti operando un campionamento diretto e determinando la concentrazione di alcuni elementi utilizzando diverse tecniche analitiche.

### 4.1 Dati considerati

I dati elaborati nel capitolo successivo sono stati ottenuti grazie alle analisi effettuate sui campioni prelevati da siti differenti, con caratteristiche differenti e con modalità diverse perciò si è deciso di descrivere i siti osservati suddividendoli in tre sottocapitoli a seconda dell'origine dei dati.

#### 4.1.1 Acque sotterranee: dati Arpa

I dati sono stati estrapolati dal sito della Regione Emilia Romagna e che sono stati forniti da ARPA comprendono numerosi parametri organici, inorganici e caratteristiche chimico- fisiche specifiche per ogni pozzo.

I siti considerati si riferiscono a 13 pozzi ubicati sulla conoide del Marecchia e sono riportati nella figura sottostante.



Figura 16 Schema della distribuzione dei pozzi campionati da ARPA

Come si può notare in figura 16 i pozzi da dove sono state prelevate le aliquote di campione sono distribuiti in maniera uniforme su tutto il territorio riminese, da Santarcangelo di Romagna fino al mare Adriatico e da Viserba monte fino a Rimini centro per fornire una serie di dati il più rappresentativa possibile della zona.

#### 4.1.2. Acque superficiali: dati Arpa

La prima serie di dati trattata comprende numerosi parametri allo scopo di valutare lo stato della qualità delle acque del fiume Marecchia dagli anni 2000 ad oggi e proviene da Arpa (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente) dell'Emilia Romagna.

Arpa ha stabilito quattro punti di campionamento :

1. Secchiano ;
2. Ponte Verucchio;
3. Ponte sulla traversa del Marecchia della sp 49 ;
4. Sotto il ponte della cascata di via Tonale.

Purtroppo i dati riferiti al primo punto di campionamento arrivano fino al 2009, poiché negli anni successivi cambiò la normativa e quel punto di campionamento venne eliminato.

##### PRIMO PUNTO DI CAMPIONAMENTO

Il primo punto di campionamento si trova a San Leo, sotto il ponte per Secchiano ed è stato scelto perché consente di valutare lo stato delle acque del fiume a valle di Novafeltria e dei suoi allevamenti di ovini e bovini, figura 17.



Figura 17 ponte di Secchiano

##### SECONDO PUNTO DI CAMPIONAMENTO

Il secondo punto di campionamento stabilito dalla normativa regionale viene individuato con il codice 19000200 e viene localizzato nei pressi di Ponte Verucchio (figura 18) a Verucchio. Questo punto rappresenta la fine del bacino montano del fiume Marecchia e si trova a valle di Pietracuta.

Il corso d'acqua presso il secondo punto di campionamento è caratterizzato da un buon grado di naturalità. (ARPA, 2009).

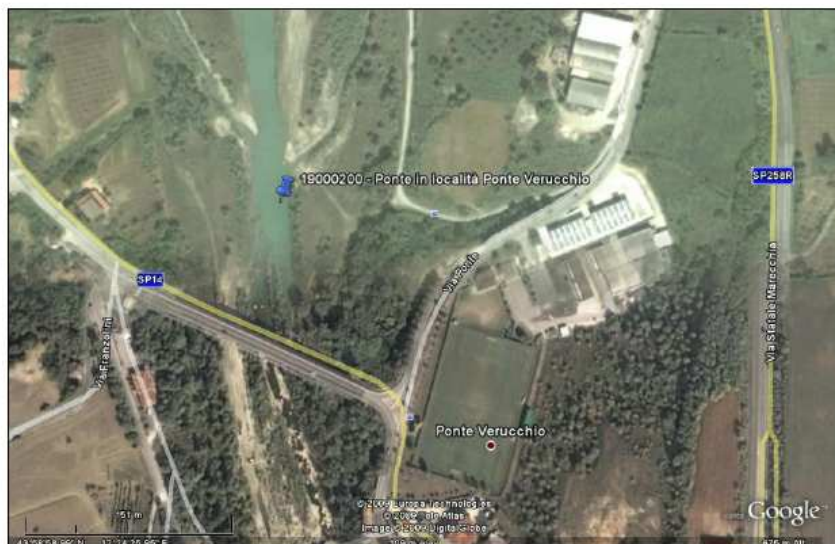


Figura 18 Ponte Verucchio

### TERZO PUNTO DI CAMPIONAMENTO

Il terzo punto di campionamento adottato dall'ARPA è definito attraverso il codice 19000300 ed è situato sotto il Ponte della strada provinciale 49 nel comune di Santarcangelo di Romagna (figura 19) all'altezza di San Martino dei Mulini.

L'ente ha riscontrato una forte riduzione della portata dovuta all'elevata permeabilità del terreno che consente all'acqua corrente di infiltrarsi ed alimentare la falda.



Figura 19 Ponte S:P:49 Santarcangelo di R.

### QUARTO PUNTO DI CAMPIONAMENTO

Il quarto punto di campionamento viene identificato con il codice 19000600 (figura 20) ed è situato a monte della cascata di via Tonale, nel comune di Rimini e identifica la porzione finale del fiume, prima dell'ingresso di acqua marina.



Figura 20 cascatella di via Tonale

La figura precedente rappresenta il quarto punto di campionamento e si è ottenuto grazie all'utilizzo del software google earth.

#### 4.1.3 Acque superficiali: dati acquisiti

Per una valutazione più precisa e dettagliata delle acque del Marecchia si è ritenuto necessario effettuare una serie di campionamenti lungo tutto il corso del fiume.

Per iniziare si è pensato di procedere con un campionamento casuale, in quanto un campionamento di questo tipo permette di ottenere dei campioni rappresentativi della zona di studio, perché ognuno di essi avrà la stessa probabilità di essere prelevato. Così si sono riempite una trentina di bottigliette da 500 ml l'una, partendo dalla zona più vicina al mare e procedendo verso monte e ripetendo il campionamento in alcune zone particolarmente interessanti.

Una volta ottenuti i campioni si è determinata la concentrazione dello ione nitrato e dello ione nitrito attraverso lo spettrofotometro portatile. Sulla base di questi primi risultati e per una migliore interpretazione si sono raccolti altri campioni in maniera il più possibile regolare su tutto il corso del fiume e per alcuni siti adottando un campionamento di convenienza, cioè concentrando i prelievi in una zona specifica.

Considerata l'area di studio, è stato definito per la prima tipologia un intervallo di campionamento di circa 3/4 km tra i vari campioni di modo che fossero il più rappresentativi possibili delle singole zone in cui è suddiviso il fiume. Ci sono stati alcuni casi per cui non è stato possibile mantenere l'intervallo costante, a causa della morfologia del territorio che non ha permesso di campionare.

Per la seconda tipologia invece si sono effettuati tre o quattro prelievi nelle due zone evidenziate in rosso, nello specifico nelle vicinanze di via Tonale/ stadio del baseball e dalle parti della Gaiofana, frazione del comune di Rimini, dove era stata evidenziata una forte presenza di nitrati/nitriti.



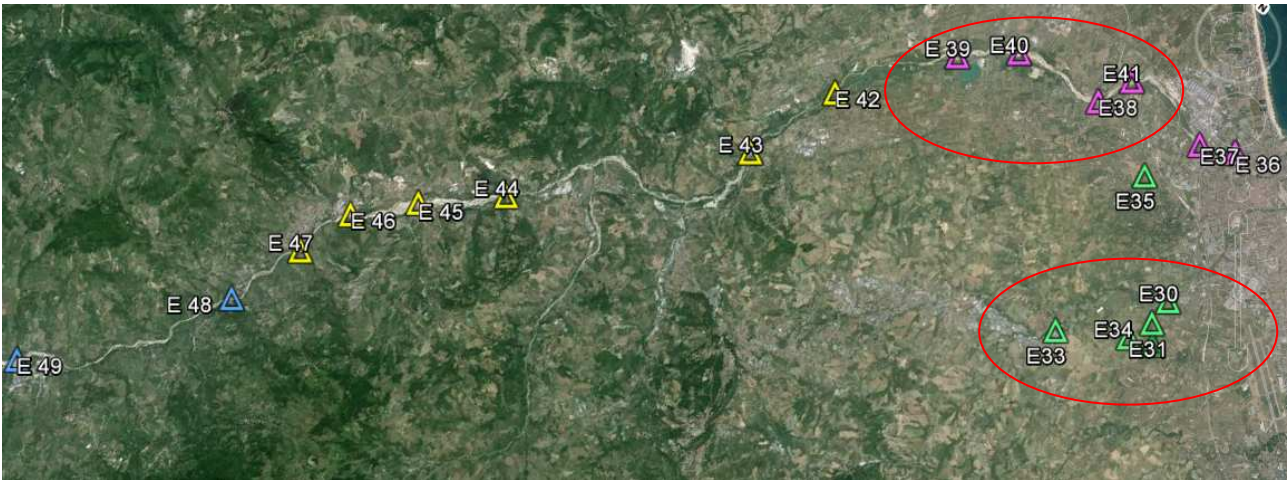


Figura 21 rappresentazione attraverso google Earth dei punti di campionamento

Osservando la figura 21 è possibile notare che i punti hanno colori diversi: i simboli che hanno lo stesso tono sono i punti campionati lo stesso giorno e che non si trovano tutti lungo l'asta del fiume, infatti si è deciso di prelevare tre o quattro campioni da un affluente del Marecchia, il torrente Ausa, che si immette nel corso d'acqua primario all'altezza del punto di campionamento E35.

Gli strumenti utilizzati durante il campionamento sono stati:

- Bottigliette da 500 ml;
- Secchio + corda per facilitare il campionamento;
- Gps per stabilire le coordinate geografiche del luogo di campionamento;
- Macchina fotografica per immortalare le condizioni del sito campionato.

## 4.2 Metodi

Dopo aver effettuato i campionamenti precedentemente descritti, si è determinata la concentrazione di una decina di ioni contenuti nei campioni raccolti, utilizzando tre tecniche analitiche differenti.

Prima sono stati determinati pH, conduttività e temperatura dei campioni poco dopo il prelevamento. Il pH è stato misurato attraverso un pHmetro, che consiste in una sonda collegata ad un dispositivo elettronico, che calcola in valore del pH e lo mostra su un display. Per misurare la conduttività e la temperatura in un campione in soluzione, invece, è stato utilizzato un conduttimetro.

Misurate queste caratteristiche si è proseguito con le analisi vere e proprie dei campioni, utilizzando le tecniche investigative di seguito descritte.

### 4.2.1 Spettrofotometro

Il primo strumento utilizzato per la determinazione dello ione nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e successivamente dello ione nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), per i primi 30 campioni, è stato lo spettrofotometro portatile, che però ha

portato a dei risultati non del tutto soddisfacenti. Solitamente viene utilizzato in campo e può essere soggetto ad una serie di errori grossolani, da parte dell'operatore e non solo, che abbassano l'efficienza e la precisione dell'analisi.

La procedura da seguire per un'analisi con questo strumento prevede l'introduzione nel campione di un reagente specifico a seconda dello ione da determinare, che cambia la colorazione della soluzione reagendo con l'analita; se la colorazione risulta più intensa, allora la concentrazione dello ione nel campione sarà maggiore.

Dopo aver seguito pedissequamente la procedura, anch'essa differente a seconda dell'analita, si introduce nello spettrofotometro prima un bianco, una soluzione contenente il campione ma senza reagente e successivamente viene fatta l'analisi del campione con il reagente.

I risultati ottenuti danno informazioni sulla concentrazione dello ione e sulla concentrazione dell'azoto dello ione.

Di seguito è stato specificato il principio del metodo e il funzionamento dello strumento.

#### PRINCIPIO DEL METODO

La spettrofotometria è una tecnica investigativa utilizzata per quantificare ioni come il nitrato in campioni in soluzione. La tecnica prevede di inviare una radiazione ad una determinata lunghezza d'onda verso ogni singolo campione e misurare successivamente la radiazione emessa.

Essa si basa sul fatto che se si irradiano delle molecole con una radiazione elettromagnetica monocromatica, esse ne assorbono una parte e la radiazione emessa risulta nettamente ridotta. Ogni atomo assorbe ad una lunghezza d'onda caratteristica, quindi se si irradia il campione con la lunghezza d'onda dell'elemento da analizzare si riesce a capire, in base alle leggi seguenti, la concentrazione dello stesso.

Ottenuto il risultato si calcola la concentrazione dell'analita nel campione grazie all'equazione di Lambert-Beer che mette in relazione le proprietà del materiale con quelle della luce.

Grazie ai valori ottenuti attraverso lo spettrometro si calcola l'assorbanza che per i liquidi viene definita così:

$$A = -\log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

dove  $I_0$  rappresenta la radiazione incidente,  $I$  la radiazione trasmessa e  $A$  è l'assorbanza.

Per trovare la concentrazione dello ione si utilizza la legge di Lambert-Beer che è scritta qui di seguito:

$$A = \varepsilon \times l \times C$$

dove  $\epsilon$  è il coefficiente di assorbimento molare ( $M^{-1} \times cm^{-1}$ ),  $l$  è il cammino ottico che corrisponde allo spessore in cm della cuvetta contenente la soluzione attraversata dal raggio,  $C$  è la concentrazione dell'analita in soluzione (mol/l).

La figura 22 seguente mostra schematicamente com'è strutturato lo strumento sopra illustrato, che comprende un monocromatore M che seleziona la lunghezza d'onda opportuna a seconda dello ione da analizzare, una cella dove inserire il campione e un foto detector che converte il segnale ottico in segnale elettrico. Al termine dell'analisi compare su un display la concentrazione in mg/l dello ione considerato.

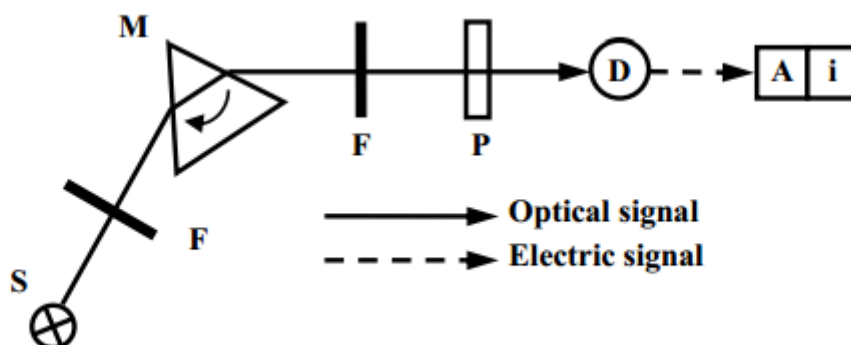


Figura 22 schema dello strumento

Dopo aver individuato i siti più rappresentativi si è scelto di procedere con l'analisi utilizzando delle tecniche analitiche più efficienti e precise :

- Assorbimento atomico;
- Cromatografia ionica.

#### 4.2.2 Assorbimento atomico

La tecnica utilizzata per determinare :  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  e  $Na^+$  è l'assorbimento atomico.

La spettrometria ad assorbimento atomico (AAS) è una tecnica analitica particolarmente sensibile in quanto è in grado di determinare la presenza di ioni in campioni in soluzione fino a concentrazioni dell'ordine dei  $\mu g/l$ .

##### PRINCIPIO DEL METODO

Questo tecnica si basa sull'assorbimento di una radiazione luminosa da parte di un atomo che passa da uno livello energetico più basso, dove l'atomo è stabile, ad un livello più alto che lo porta in uno stato di eccitazione. Perché questo salto energetico avvenga, però, è necessario irradiarlo con energia ad una determinata lunghezza d'onda, caratteristica dell'atomo stesso.

Lo schema di funzionamento dell'assorbimento atomico (figura 23) si può riassumere in 5 passaggi:



1. L'introduzione del campione
2. La vaporizzazione
3. L'atomizzazione
4. L'irradiazione
5. La rivelazione

A seconda dell'elemento da quantificare, viene scelta una lampada che emetta luce nella lunghezza d'onda dello spettro di assorbimento dell'analita. Queste lampade si chiamano lampade a catodo cavo e contengono un anodo di tungsteno e un catodo cilindrico cavo dell'elemento da determinare. Essi sono sigillati in un tubo di vetro riempito con un gas inerte (neon o argon) ad una pressione che si aggira fra 1 N/m<sup>2</sup> e 5 N/m<sup>2</sup>. La ionizzazione degli atomi ora allo stato gassoso avviene applicando una differenza di potenziale tra anodo e catodo di circa 300/400 V.

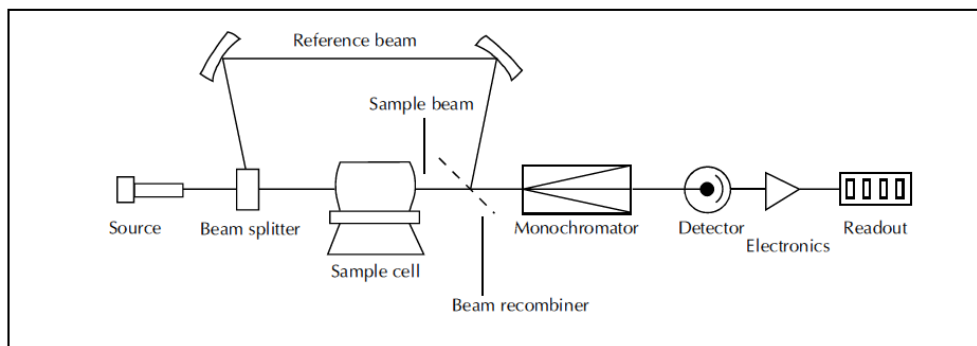


Figura 23 Schema dello strumento

Per selezionare la lunghezza d'onda assorbita dall'elemento da analizzare si utilizza un monocromatore e la radiazione che esso seleziona viene indirizzata verso il detector.

Solitamente i moderni spettrometri sono forniti di uno strumento in grado di separare il fascio di luce iniziale, del quale una parte verrà fatto passare attraverso il campione mentre l'altro fungerà da riferimento. Questa misura di precauzione viene adottata, perché il fascio di energia non è costante nel tempo e, se non si avesse un riferimento durante la misurazione della concentrazione, si potrebbero ottenere delle analisi poco precise.

Per quanto riguarda l'atomizzazione del campione, solitamente si utilizzano due sistemi differenti: l'atomizzatore a fiamma e il fornello di grafite. In questo caso si è utilizzato l'atomizzatore a fiamma, che prevede una camera di combustione con una fiamma alimentata a gas, in cui viene nebulizzata la soluzione con il campione. Il tipo di fiamma utilizzata per le mie analisi era quella aria/acetilene, che porta alla formazione di una fiamma con una temperatura che si aggira intorno ai 2300°C. Il monocromatore è una parte molto importante dello strumento, in quanto ha il compito di ripulire la radiazione policromatica in uscita dall'atomizzatore di tutte le componenti spurie e dirigerla verso il rivelatore, che trasforma la radiazione in un segnale elettrico. Il segnale elettrico poi viene trasformato in una forma che può essere letta più facilmente dall'analista, infatti il segnale emesso dall'analita viene ripetutamente integrato nel tempo, portando alla formazione di una curva dove l'area ci darà indicazioni sulla assorbanza. Solitamente lo strumento

ripete questo processo tre volte e poi fa la media delle tre. Successivamente, attraverso l'equazione di Lambert Beer precedentemente descritta si può ottenere la concentrazione dell'analita.

#### PROCEDURA ANALITICA

In laboratorio sono stati effettuati una serie di passaggi preliminari prima dell'analisi vera e propria del campione allo scopo di aumentare la precisione e l'accuratezza della stessa.

Per prima cosa si è prelevata un'aliquota di 50 ml dal campione precedentemente filtrato ed è stato acidificato al fine di non innescare reazione fra gli elementi del campione con la conseguente perdita di analiti. L'acidificazione è avvenuta aggiungendo 0.5 ml di HNO<sub>3</sub> diluito 1:100.

Successivamente si sono diluiti i campioni ad 1:10 e 1:100 per cercare di rilevare l'intera concentrazione di analita. Nel caso del calcio e del potassio si è deciso di procedere con diluzioni 1:10 perché si riteneva che le contrazioni sarebbero state facilmente rilevabili dallo strumento, mentre nel caso di magnesio e sodio si è deciso di analizzare i campioni diluiti 1:100 per ottimizzare l'analisi.

Prima di effettuare l'analisi sono stati anche aggiunti 5 ml di HNO<sub>3</sub> nel campione 1:10 per mantenere inalterato il pH ed 0.5 ml di nitrato di lantanio nel campione 1:100 per garantire l'atomizzazione di alcuni metalli potenzialmente presenti.

I campioni così preparati sono pronti all'analisi.

#### CALIBRAZIONE DELLO STRUMENTO

Prima di procedere con l'analisi dei campioni però, si è dovuto tarare lo strumento utilizzando una serie di matracci precedentemente preparati contenenti lo ione analizzato a differenti concentrazioni e misurando l'assorbanza.

L'operazione veniva ripetuta ogni volta che era necessario effettuare delle analisi con il FAAS, ottenendo sempre risultati molto simili ai seguenti (Tabella 4, Tabella 5, Tabella 6 e Tabella 7)

Tabella 4 calibrazione Ca

Ca	$\lambda = 422.7$	
STANDARD (mg/l)	ASSORBANZA	
0 (bianco)	0.000	-0.001
0.2	0.014	0.014
0.4	0.024	
1	0.056	
2	0.107	
5	0.248	
10	0.491	
20	0.900	

Tabella 5 calibrazione Mg

Mg	$\lambda = 285.2$	
STANDARD (mg/l)	ASSORBANZA	
0 (bianco)	0.000	0.002
0.2	0.135	0.136
0.4	0.252	
1	0.613	
2	1.115	
5	0.858	

Tabella 6 calibrazione K

K	$\lambda = 766.5$	
STANDARD (mg/l)	ASSORBANZA	
0 (bianco)	0.004	0.009
0.2	0.033	0.035
0.4	0.057	0.057
1	0.123	
2	0.220	
5	0.512	
10	0.949	

Tabella 7 calibrazione Na

Na	$\lambda = 589$		
STANDARD (mg/l)	ASSORBANZA		
0 (bianco)	0.012	0.027	0.024
0.2	0.087	0.093	
0.4	0.147	0.155	0.151
1	0.332	0.334	
2	0.619		
5	1.689		
10	2.408		

Una volta terminata la fase di taratura si poteva passare alla fase di analisi dei campioni acquisiti in campo.

### 4.2.3 Cromatografia ionica (IC)

La tecnica utilizzata per la determinazione di :  $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$  e  $NO_2^-$  è la cromatografia a scambio ionico o cromatografia ionica.

#### PRINCIPIO DEL METODO

La cromatografia ionica è una tecnica in grado di analizzare dal punto di vista qualitativo e quantitativo ioni contenuti in un campione in soluzione e prevede una distribuzione differenziale di anioni e cationi fra due fasi:

- a) Fase stazionaria o fase fissa.
- b) Fase mobile o fase dell'eluente.

La fase stazionaria è costituita da una resina a scambio ionico, una sorta di supporto irregolare tridimensionale, formato da catene di natura organica unite tra loro da legami incrociati, sulla quale si trovano dei gruppi ionici o ionizzabili (ad esempio  $SO_3^-$ ,  $COO^-$ ,  $NR_3^+$ ).

Lo scheletro della resina, solitamente, è di tipo polistirenico ottenuto per copolimerizzazione dello stirene con divinilbenzene. Il contenuto di divinilbenzene può variare dall'1 al 16 % e determina il grado di reticolazione. L'affinità per la fase stazionaria da parte degli ioni aumenta se la carica di questi ultimi è elevata, se il raggio di idratazione è più piccolo e se gli ioni sono molto polarizzabili.

Quando gli ioni entrano nella colonna cromatografica, i gruppi attivi della resina attirano i controioni di carica opposta e li trattengono formando legami di coordinazioni .

La fase mobile, invece, deve contenere elettroliti forti, composti ionici dissociati, in grado di competere con gli analiti nello scambio con la resina; se la concentrazione dei competitori risulta essere molto elevata anche gli ioni verranno eluiti più velocemente.

Superata la colonna , gli ioni passano attraverso un rivelatore che misura la concentrazione del soluto nell'eluato e dà origine ad un cromatogramma che esprime il segnale ottenuto da ciascuno ione in funzione del tempo di ritenzione.

## SCHEMA DELL'APPARECCHIATURA

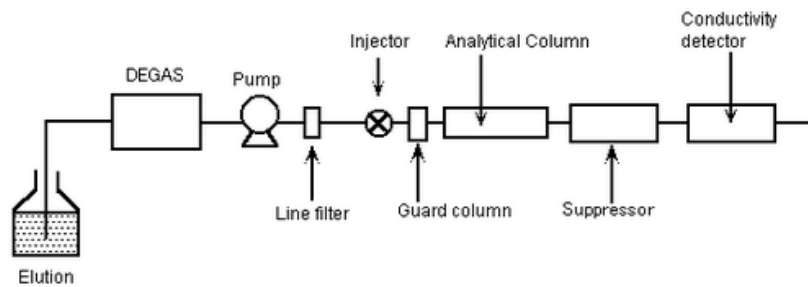


Figura 24 Schema dello strumento

Riassumendo il cromatografo (figura 24) è formata da 5 elementi:

- 1) Pompa di iniezione: ha il compito di introdurre la miscela da analizzare e l'eluente che vengono messi nel miscelatore e poi nella colonna;
- 2) Miscelatore: di lì passano i solventi prima di entrare in colonna e ha il compito di mescolare i solventi per omogeneizzarli;
- 3) Colonna di separazione: dove avviene la separazione degli ioni ;
- 4) Soppressore: è uno strumento particolare che permette l'eliminazione degli ioni dell'eluente, che interferirebbero con il riconoscimento degli ioni del campione da parte del detector. Il soppressore prevede l'uso di un'ulteriore colonna posta dopo la colonna di separazione, che ha il compito di eliminare la conduttività dell'eluente;
- 5) Rivelatore: è quello strumento che permette di determinare ogni sostanza all'uscita dalla colonna di separazione. Solitamente si utilizzano quelli conduttimetrici perché sono molto sensibili, di facile utilizzo e poco costosi.

### 4.2.4 Software

#### EXCEL

Per prima cosa si è deciso di intraprendere un'analisi statistica utilizzando il software excel attraverso il quale sono stati calcolati: media, deviazione standard e valori di fondo (limiti di background). L'analisi statistica è molto importante in quanto permette di evidenziare gli aspetti salienti del set di dati attraverso l'utilizzo di una serie di indicatori.

Per calcolare i valori di fondo si è scelto di utilizzare tre metodi statistici:

- $2\sigma$  iterativo
- funzione di distribuzione calcolata;

### *2 $\sigma$ iterativo*

Una volta calcolati tali indicatori si è passati a valutare i valori di fondo, molto utili al fine di determinare il reale stato di inquinamento delle acque.

Il primo metodo utilizzato è il *2 sigma iterativo* che prevede i seguenti passaggi:

1. Ordinamento dei valori in ordine crescente;
2. Determinazione di media e deviazione standard del data set;
3. Calcolo dei limiti superiore ed inferiori (media  $\pm$  2 dev.st);
4. Applicazione dei limiti al data set ed eliminazione dei valori che fuoriescono dall'intervallo;
5. Ripetizione dell'operazione fino alla completa eliminazione degli outliers segnalati dal procedimento.

### *funzione di distribuzione calcolata*

Il secondo metodo utilizzato per calcolare i valori di fondo è quello della funzione di distribuzione calcolata che prevede lo svolgimento dei seguenti passaggi:

1. Ordinamento dei valori in ordine crescente.
2. Calcolo della funzione cumulata dei campioni.
3. Calcolo della mediana.
4. Realizzazione del nuovo data set, mediante riflessione della parte dei dati inferiore alla mediana.
5. Sul nuovo data set sono state calcolate media e deviazione standard, al fine di determinare il limite di background, ottenuto con la formula: Media + 2 dev st

### PROUCL

Per ottimizzare l'analisi dei dati si è deciso di utilizzare anche un altro software statistico, proUCL, realizzato dall'EPA (US Environmental Protection Agency) ideato per gestire dati ambientali e comprende numerosi indici statistici e tool di generazione grafica.

Una delle funzioni che si è deciso di impiegare al fine di descrivere la distribuzione dei dati è stato il BoxPlot che ha permesso di ottenere una rappresentazione grafica attraverso l'utilizzo di semplici indici di dispersione.

## Boxplot

. La sua costruzione ha bisogno di cinque dati:

1. Il 25° percentile (Q1);
2. La mediana;
3. Il 75° percentile (Q3);
4. Minimo= Q1-DI;
5. Massimo=Q3-DI

dove DI corrisponde alla distanza interquartile (Q3-Q1).

Confrontando tra loro le lunghezze dei due baffi , che rappresentano le distanze tra Q1 e il minimo e tra Q3 e il massimo, e le altezze dei due rettangoli che costituiscono la scatola, che rappresentano le distanze tra Q1 e la mediana e tra la mediana e Q3, si ottengono informazioni sulla simmetria della distribuzione che è tanto più simmetrica quanto le lunghezze dei bassi risultano simili tra loro e le altezze dei due rettangoli risultano simili tra loro. I baffi mettono in evidenza la presenza di eventuali outliers, perciò se i valori della serie di dati analizzata ricadono oltre il massimo si possono definire valori anomali.

## STIFF DIAGRAMS

Per ogni campioni quindi è stato costruito un grafico costruito inserendo le concentrazioni misurate in meq/l di  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ : la forma rappresentata nel grafico sarà caratteristica di uno specifico tipo di roccia. (figura 25)

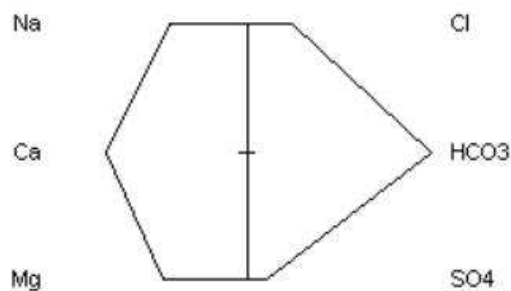


Figura 25 esempio stiff diagram (<http://www.osawaterworks.com/waterquality.htm>)

## QGIS

Un altro software che è stato utilizzato è QGIS, che permette di graficare dati con origini differenti in un unico progetto territoriale. I grafici possono essere personalizzati cambiando la gradazione di colore e sfumatura di colore in base a ciò che si vuole ottenere. In questo lavoro di tesi è stato molto utile per descrivere la distribuzione dei punti campionati nella zona di studio, sia quelli delle acque superficiali che quelli delle sotterranee.

## 5. Risultati

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati descritti nel paragrafo 4.1; attraverso l'ausilio di vari tipi di software, infatti, si è riusciti a stabilire le possibili origini degli elementi rinvenuti nelle acque.

In questo lavoro di tesi sono raccolte tre serie di dati: due sono state fornite da Arpa e una acquisita direttamente, come è stato descritto nel capitolo precedente.

### 5.1 Acque superficiali: dati Arpa

La prima serie di dati trattata comprende una serie di parametri determinati per valutare lo stato delle acque del fiume Marecchia dal 2000 ad oggi ed è stata fornita da ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente) dell'Emilia Romagna.

I parametri osservati sono i seguenti:

1. Temperatura dell'acqua;
2. Temperatura dell'aria;
3. pH;
4. Solidi sospesi;
5. Conduttività;
6. Azoto totale;
7. Azoto ammoniacale;
8. Azoto nitrico;
9. Azoto nitroso;
10. Ossigeno disciolto;
11. BOD<sub>5</sub>;
12. COD;
13. Ortofosfato;
14. Fosforo totale;
15. Cloruri;
16. Solfati;
17. Durezza.

I dati di questa serie derivano dalle osservazioni sulle stazioni di monitoraggio delle acque superficiali e sono descritti per singola stazione. I risultati completi considerati in questa elaborazione sono riportati in Appendice



## 5.1.1 San Leo : primo punto di campionamento ARPA

I parametri statistici riassuntivi per la stazione di San Leo sono riportati in tabella 8:

Tabella 8 media, mediana, deviazione standard, minimo, massimo , n° di osservazione San Leo 2001-2009

parametri	Media	mediana	dev.standard	minimo	massimo	n° oss
Temperatura acqua (°C)	13.0	12.375	6.8	0.3	26.7	94
Temperatura aria (°C)	17.3	17.35	8.7	0.7	34.1	94
pH	8.1	8.14	0.31	7	8.8	106
Conduttività (µS/cm)	521.1	512	50.3	407	650	94
Durezza (CaCO <sub>3</sub> mg/l)	257.5	253	48.0	112	493	94
Azoto totale (mg/l)	0	0.65	1.3	0.01	9.7	63
Ammoniaca (mg/l)	0	0.012	0.04	0.012	0.228	94
Solidi sospesi (mg/l)	15.9	5	27.4	0.5	168	94
Nitrati (mg/l)	3.3	2.67	5.08	0.044	42.8	94
Nitriti (mg/l)	0	0.015	0.05	0.015	0.25	94
Solfati (mg/l)	67.7	63	33.4	8	348	94
Cloruri (mg/l)	19.3	15.25	18.1	9	172	94
BOD5 (O <sub>2</sub> mg/l)	1.5	1	1.4	0.5	10	94
COD (O <sub>2</sub> mg/l)	10.1	7	8.6	2	45	94
Fosforo totale (mg/l)	0.0	0.005	0.21	0.005	1.9	94
Ortofosfato (mg/l)	0.0	0.005	0.09	0.005	0.48	94
Ossigeno disciolto (mg/l)	10.2	10.25	2.3	3.4	16.3	94

La figura 26 rappresenta i box plot di tutti i parametri analizzati, ogni singolo box plot rappresenta la distribuzione dei campioni e loro simmetria

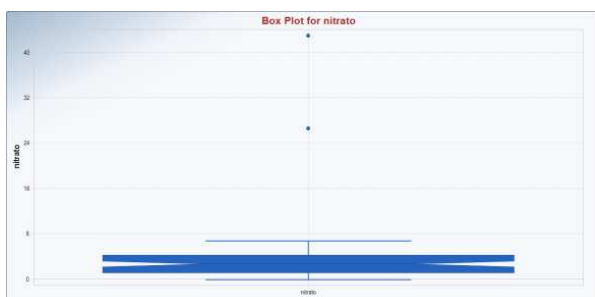


Figura 26a nitrato



Figura 26c solfati

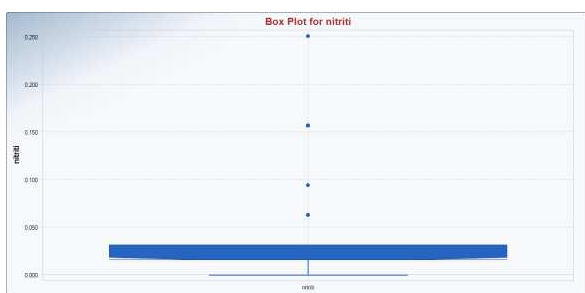


Figura 26b nitriti



Figura 26d cloruri

Come si può notare dai boxplot di figura 26 ci sono dei punti che fuoriescono dagli estremi superiori, e in qualche caso anche inferiori, della scatola che potrebbero essere delle potenziali anomalie.

#### LIMITI DI BACKGROUND

Il limite di background rappresenta la massima concentrazione di un elemento che si può trovare nell'ambiente per cause di origine naturale; le possibili variazioni da tali valori segnalano lo sversamento di qualche sostanza di origine antropica.

I limiti di background ottenuti sono riportati nella tabella 9 :

Tabella 9 limiti di background 2  $\sigma$  interativo e funzione di distribuzione calcolata

PARAMETRI	2 $\sigma$ interativo	Funzione di distribuzione calcolata
Temperatura acqua (°C)	24.5	24.66
pH	8.6	8.83
Solidi sospesi (mg/l)	3.5	10.42
Conduttività a 20°	578	592.63
Azoto totale (mg/l)	1.5 l	1.2783
Ammoniaca (mg/l)	0.03 l	0.012
Nitrato (mg/l)	5.304 l	5.91
Nitrito (mg/l)	0.0313 l	0.0313
Ossigeno disciolto (mg/l)	13.2 l	14.73
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	2	1.38
COD (mg/l)	20	14.59
Ortofosfato (mg/l)	0.05	0.005
Fosforo totale (mg/l)	0.0525	0.005
Cloruri (mg/l)	19	20.71
Solfati (mg/l)	84	89.33
Durezza (mg/l)	300	323.24

Confrontando i risultati dei due approcci, (tabella 8) non si evidenziano particolari differenze. Per quanto riguarda i valori forniti da ARPA sono stati riscontrati dei superamenti e si possono annoverare fra i più significativi quelli di ammoniaca dal novembre del 2007 al dicembre del 2009, la concentrazione di 42.87 mg/l dei nitrati, poco inferiore al limite di legge di 50 mg/l. Le concentrazioni di nitriti rilevate nel 2004 e quelle del 2007 sono risultate tutte superiori ai limiti di fondo calcolati, ma soprattutto nel dicembre del 2004 è stata misurata una concentrazione di solfati di 348 mg/l superiore al limite di background e superiore al limite di legge di 250 mg/l; nel dicembre 2004 è stata anche concentrazione di cloruri di 172 mg/l che supera notevolmente i limiti di background, rimanendo comunque sotto al limite di legge di 250 mg/l.

È evidente che nel dicembre 2004 è successo qualcosa che ha provocato un aumento significativo della concentrazione di molti elementi e composti delle acque del fiume Marecchia

Per alcuni parametri (pH, conduttività, cloruri, solfati, azoto totale, ammoniaca, nitrati e nitriti) si riportano le serie temporali, per rendere conto di fluttuazioni e anomalie (figura 27).

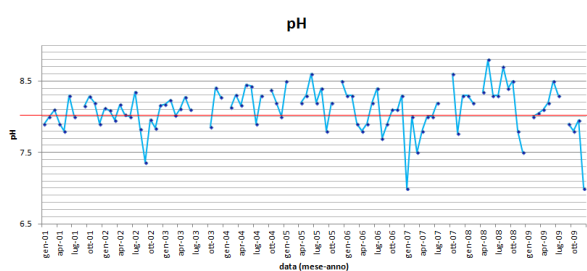


Figura 27a pH

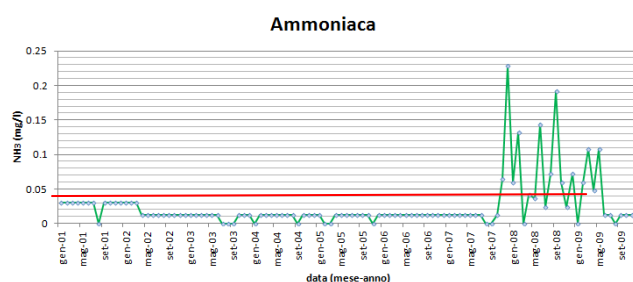


Figura 27f Ammoniaca

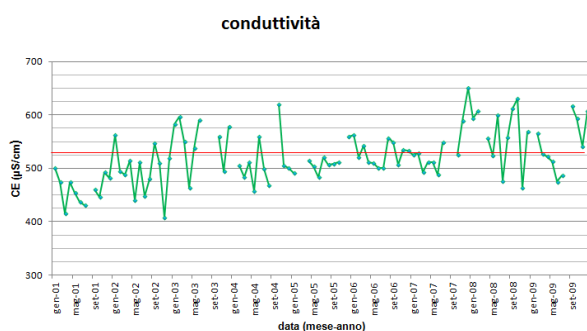


Figura 27b Conduttività

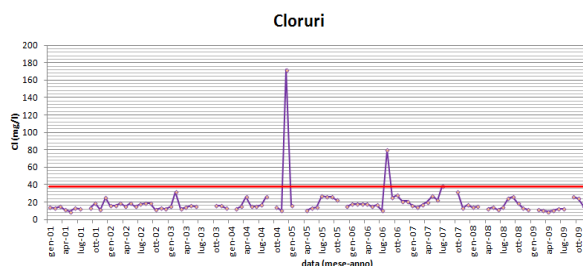


Figura 27c cloruri

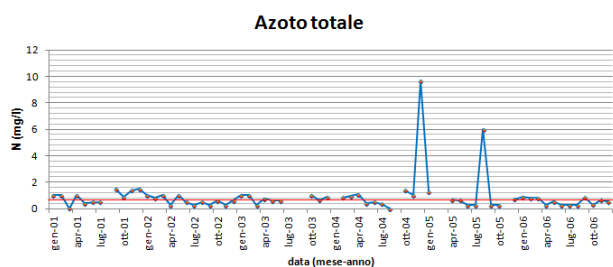


Figura 27e Azoto totale

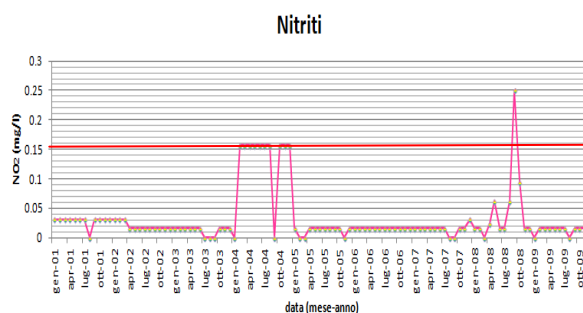


Figura 27d Nitriti

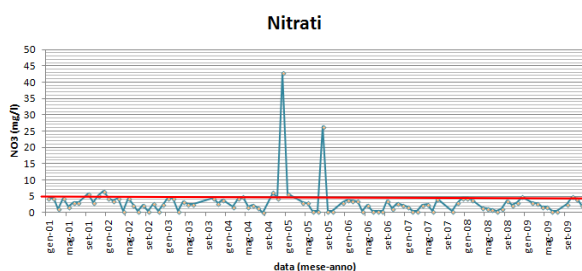


Figura 27g Nitrati

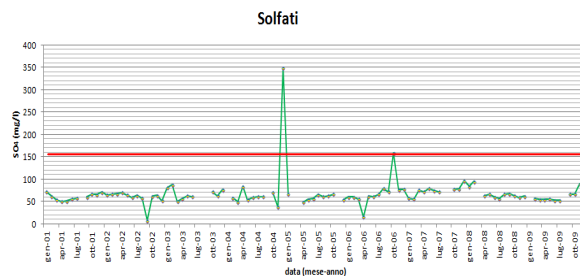


Figura 27h solfati

Per ognuno dei parametri sono evidenti picchi di concentrazione che rappresentano eventi particolari e che si scostano dagli andamenti medi. Ad esempio per i nitrati (Figura 27g) sono evidenti due picchi con concentrazioni di 42.87 mg/l e 26.52 mg/l e molto lontani dalla media dei valori analizzati. Il primo valore è stato rilevato nel dicembre del 2004, mentre il secondo ad agosto del 2005, quindi in condizioni climatiche molto differenti. Un altro parametro per cui si sono osservate anomalie è il solfato (Figura 27h) che presenta due picchi: il primo di 348 mg/l risale al dicembre 2004, il secondo di 158 mg/l nel dicembre 2006. Si segnala che il primo risultato risulta superiore al limite di legge di 250 mg/l. Anche il cloruro (figura 27d) che mostra due picchi a concentrazioni di 172 mg/l del dicembre del 2004 e 80 mg/l dell'agosto 2006.

Gli esempi elencati sopra sono stati ritenuti i più rilevanti in quanto presentavano uno scostamento significativo dalla media e dalle concentrazioni normalmente misurate durante i 10 anni.

Per determinare le concentrazioni abbinate ai punti appena individuati si è ritenuto necessario applicare all'intero database l'*outliers test*, cioè una funzione specifica del software che permette di identificare le concentrazioni anomale.

Nella tabella 10 sono stati riportati gli outliers individuati attraverso il test.

Tabella 10 outliers test San Leo

Parametro	Livello di significatività 5%	Livello di significatività 1%
Temperatura acqua (°C)	/	/
pH	7	/
Solidi sospesi (mg/l)	168	168
Conduttività a 20° (µS/cm)	/	/
Azoto totale (mg/l)	9.7	9.7
Ammoniaca (mg/l)	0.228	0.228

Nitrato (mg/l)	42.87	42.87
Nitrito (mg/l)	0.25	0.25
Ossigeno disciolto (mg/l)	/	/
BOD <sub>5</sub> (O <sub>2</sub> mg/l)	10	10
COD (O <sub>2</sub> mg/l)	45	45
Orto fosfato (mg/l)	0.48	0.48
Fosforo totale (mg/l)	1.9	1.9
Cloruri (mg/l)	172	172
Solfati (mg/l)	348	348
Durezza (CaCO <sub>3</sub> mg/l)	497	497
Temperatura aria (°C)	/	/

Nella tabella 10 si notano numerose concentrazioni anomale come per esempio quella dei solfati di 348 mg/l e anche quella dei cloruri di 172 mg/l non è da sottovalutare in quanto è molto strano che in una zona così distante dal mare si possano riscontrare delle concentrazioni di cloro così alte.

### 5.1.2 Ponte Verucchio: secondo punto di campionamento ARPA

I parametri statistici riassuntivi sono riportati in Tabella 11

**Tabella 11 media e deviazione standard Ponte Verucchio**

parametri	media	mediana	dev.standard	minimo	massimo	n° osservazioni
temperatura acqua (°C)	13.8	14.3	6.49	2.2	26	139
temperatura aria (°C)	17.7	18.9	8.5	-1.2	33.9	139
pH	7.9	8	0.3	6.8	8.7	139
Conduttività (µS/cm)	645.4	627	96.8	440	1079	139
Durezza (CaCO <sub>3</sub> mg/l)	302.2	295	38.6	152	464	139
Azoto totale (mg/l)	1.6	1	1.9	0.01	14.18	107
Ammoniaca (mg/l)	0.017	0.012	0.01	0.012	0.168	141
Solidi sospesi (mg/l)	29.3	8.875	49.8	0.5	282	140
Nitrati (mg/l)	3.20	2.652	3.2	0.044	28.288	141
Nitriti (mg/l)	0.02	0	0.01	0.015	0.1252	100
Solfati (mg/l)	117.9	112	48.5	16	387	139
Cloruri (mg/l)	26.1	19	47.6	9	540	139
BOD <sub>5</sub> (O <sub>2</sub> mg/l)	1.56	1	1.3	0.5	11	141
COD (O <sub>2</sub> mg/l)	8.77	5	8.5	2	41	141

Fosforo totale (mg/l)	0.03	0.005	0.09	0.005	0.6	141
Ortofosfato (mg/l)	0.02	0.005	0.06	0.005	0.55	141
Ossigeno disciolto (mg/l)	10.0	10	2.15	4.7	16	139
Calcio (mg/l)	78.1	78.95	10.7	40.5	98.6	38

L'intervallo di variazione presentato in Tabella 10 viene presentato sotto forma di boxplot per evidenziare la presenza di valori potenzialmente anomali nel database (figura 28).

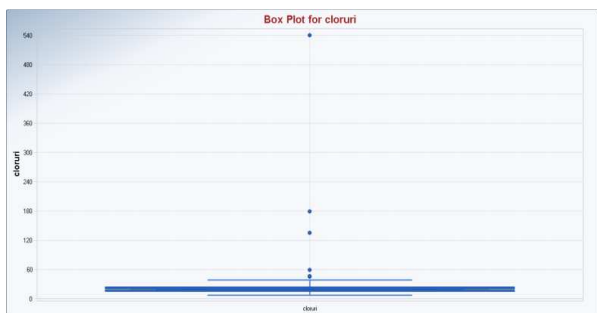


Figura 28a cloruri

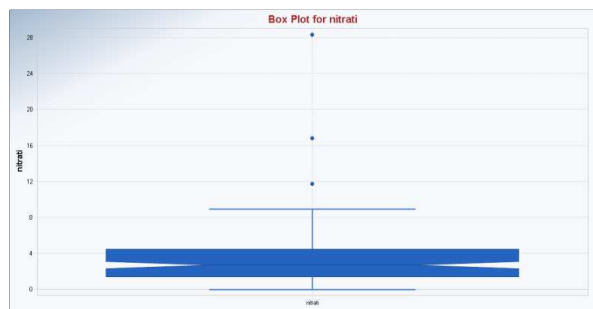


Figura 28c nitrati



Figura 28b nitrito

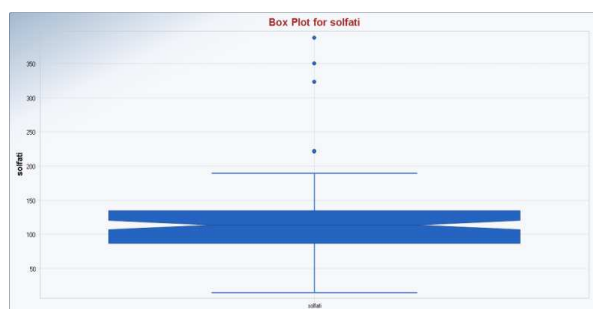


Figura 28d solfati

I grafici 28a, 28b, 28c e 28d sopra riportati sono stati scelti perchè sono i più rappresentativi della serie di dati analizzati.

L'*outliers test* segnala come anomali alcuni delle osservazioni di questo sito (Tabella 12).

Tabella 12 outliers test

Parametro	Livello di significatività 5%	Livello di significatività 1%
Temperatura acqua (°C)	/	/
pH	6.8	6.8
Solidi sospesi (mg/l)	282	282

Conducibilità a 20° (µS/cm)	1079	1079
Azoto totale (mg/l)	14.18	14.18
Ammoniaca (mg/l)	0.168	0.168
Nitrato (mg/l)	28.29	28.29
Nitrito (mg/l)	0.125	0.125
Ossigeno disciolto (mg/l)	/	/
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	11	11
COD (mg/l)	41	/
Ortofosfato (mg/l)	0.55	0.55
Fosforo totale (mg/l)	0.6	0.6
Cloruri (mg/l)	540	540
Solfati (mg/l)	387	387
Durezza (CaCO <sub>3</sub> mg/l)	464	464
Temperatura aria (°C)	/	/
Calcio (mg/l)	40.5	40.5

Per quanto riguarda i cloruri il test ha individuato come valore anomalo la concentrazione di 540 mg/l nettamente superiore ai 250 mg/l stabiliti dal decreto legislativo 152/2006; anche nel caso dei solfati è stata misurata una concentrazione di 387 mg/l superiore ai 250 mg/l stabiliti dalla legge. Il test ha segnalato per i solfati solo questo valore come anomalo, perché rappresenta il massimo della serie ma sono presenti anche altre concentrazioni che superano fortemente il limite; nello specifico nel dicembre del 2004 è stata rilevata una concentrazione di 350 mg/l e nell'agosto del 2005 di 323 mg/l

Di seguito si è deciso di riportare i grafici che mostrassero l'andamento dei parametri per individuare le anomalie durante il corso degli anni, non tutti però, ma come nel caso precedente sono stati riportati solo quelli che hanno mostrato andamenti piuttosto anomali (figura 29)

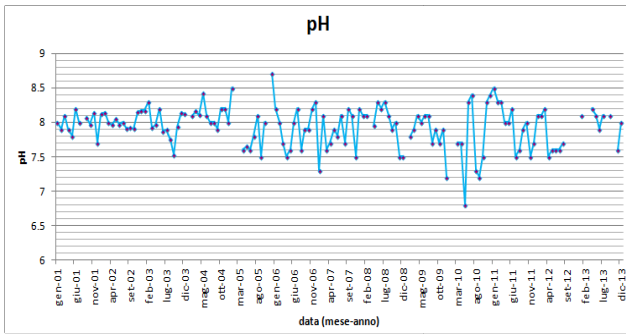


Figura 29a pH

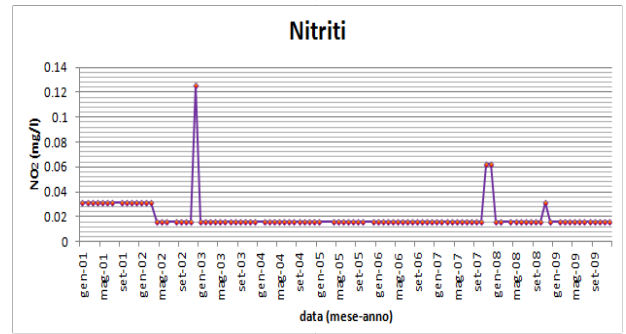


Figura 29d Nitriti

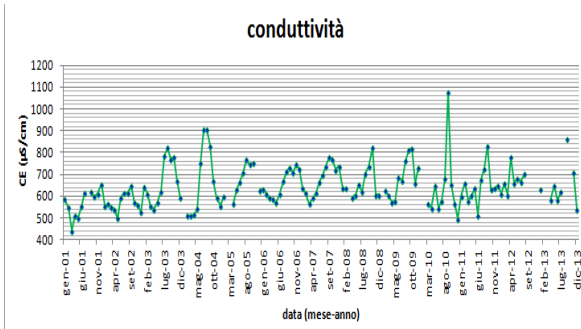


Figura 29e conduttività

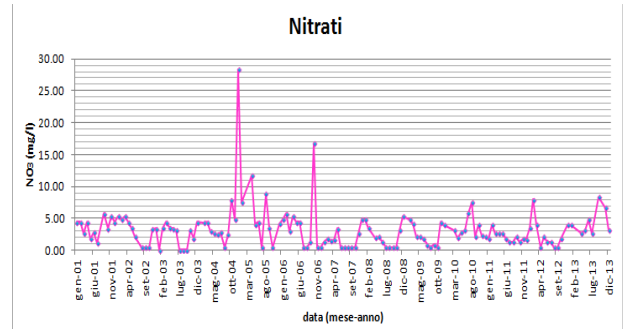


Figura 29f Nitrati

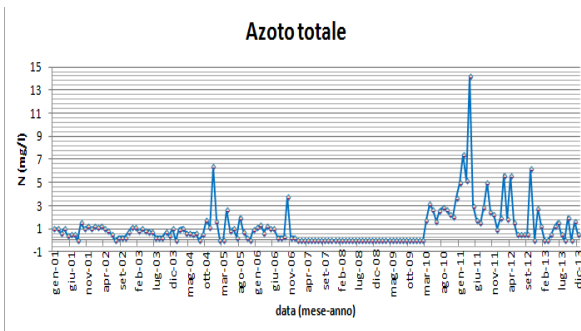


Figura 29b Azoto totale

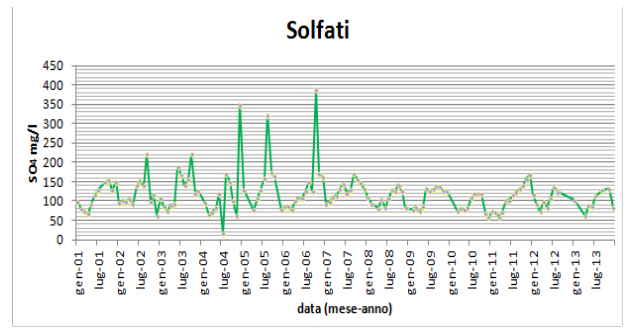


Figura 29g Solfati

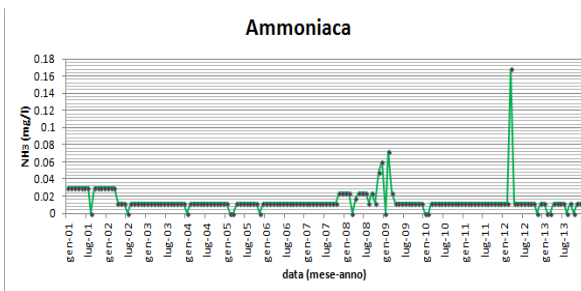


Figura 29c Ammoniac

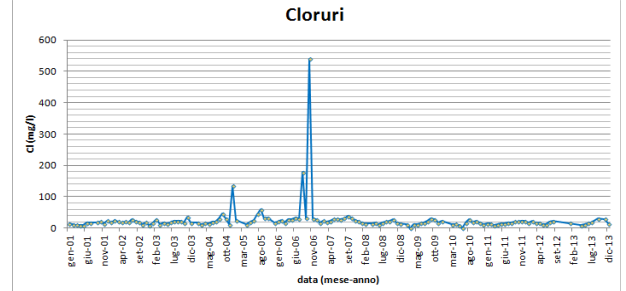


Figura 29h Cloruri

Nella figura 29f si può notare la presenza di due picchi corrispondenti nell'ordine alle concentrazioni di 28.28 mg/l del dicembre del 2004 e di 16.79 mg/l dell' ottobre del 2006. La figura 29g invece mostra che le concentrazioni dei solfati negli anni si sono mantenute sempre piuttosto alte con tre picchi corrispondenti alle concentrazioni di 350 mg/l del dicembre 2004, di 323 mg/l nell'agosto del 2005 e di 387 mg/l dell'ottobre del 2006. La figura 4h mostra un massimo di 540 mg/l dell'ottobre 2006 ed è anche possibile notare la presenza di altri due picchi minori



corrispondenti alle concentrazioni di 135 mg/l del dicembre del 2004 e di 179 mg/l dell'agosto del 2006.

I valori superiori di background calcolati utilizzando i metodi  $2\sigma$  *iterativo* e *funzione di distribuzione calcolata* sono riportati in tabella 13.

Tabella 13 limiti di background con i metodi  $2\sigma$  *iterativo* e *funzione di distribuzione calcolata*

PARAMETRI	$2\sigma$ iterativo	Funzione di distribuzione calcolata
Temperatura acqua (°C)	26	27.91
pH	8.42	8.69
Solidi sospesi (mg/l)	8	18.96
Conduttività a 20°(μS/cm)	712	755.07
Azoto totale (mg/l)	1.3	1.96
Ammoniaca (mg/l)	0.012	0.0012
Nitrato (mg/l)	5.79	5.80
Nitrito (mg/l)	0.1565	0.0156
Ossigeno disciolto (mg/l)	13.5	14.04
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	1	1.18
COD (mg/l)	19	10.45
Orto fosfato (mg/l)	0.005	0.005
Fosforo totale (mg/l)	0.005	0.005
Cloruri (mg/l)	27	28.98
Solfati (mg/l)	159	170.75
Durezza (CaCO <sub>3</sub> mg/l)	353	349.65
Calcio (mg/l)	98.6	101.05

Anche in questo caso si può notare che i limiti determinati grazie ai due metodi differenti non sono significativamente diversi, quindi si può affermare con certezza che le concentrazioni superiori a tali valori sono dovute a fonti estranee all'ambiente naturale. Per esempio nel periodo che va dal novembre 2003 all'ottobre 2007 i cloruri hanno delle concentrazioni ampiamente superiori al limite di background con picchi nel 2006, ovviamente non tutti i valori superano il limite di legge, ma è interessante il fatto che le anomalie si concentrino proprio in quel periodo. Anche alcune delle concentrazioni di solfati misurate nel periodo 2002-2006 sono superiori al limite di

background fino a raggiungere valori di 387 mg/l, come già è stato segnalato precedentemente. Per quanto riguarda i nitrati alcune delle concentrazioni misurate nel periodo 2004-2006 e 2010-2013 superano notevolmente i valori di fondo rimanendo comunque sotto il limite di legge di 50 mg/l. Considerando le anomalie che sono state evidenziate durante la trattazione dei dati si può affermare che nel periodo 2004-2006 si è verificato qualche episodio che ha portato ad aumenti di concentrazioni così significative; ciò potrebbe essere dovuto all'immissione del Torrente di San Marino che si congiunge con il Marecchia poco prima del punto di campionamento.

### 5.1.3 Santarcangelo di Romagna: terzo punto di campionamento ARPA

I parametri statistici riassuntivi per la stazione di Santarcangelo di Romagna sono riportati nella tabella 14:

**Tabella 14** media, deviazione standard, mediana, minimo, massimo, n°osservazioni

parametri	media	mediana	dev.standard	minimo	massimo	n° osservazioni
temperatura acqua (°C)	14.2	13.1	7.4	2.7	29.2	125
temperatura aria (°C)	17.2	16.5	8.5	-1	34	125
pH	8.0	8	0.3	6.8	8.5	125
Conduttività (µS/cm)	649	634	103	482	1091	125
Durezza (CaCO <sub>3</sub> mg/l)	295.2	289	42.9	166	468	125
Azoto totale (mg/l)	0.79	0.9	0.50	0.01	2.7	60
Ammoniaca (mg/l)	0.016	0.012	0.01	0.012	0.084	125
Solidi sospesi (mg/l)	53.7	32	59.0	0	283	125
Nitrati (mg/l)	1.2	0.6	1.7	0.05	8.398	123
Nitriti (mg/l)	0.02	0.01	0.03	0.01565	0.2191	87
Solfati (mg/l)	116	107	42	56	311.5	125
Cloruri (mg/l)	21.5	19	9.2	9	63	125
BOD5 (mg/l)	1.5	1	1.4	0.5	14	125
COD (mg/l)	8.9	6.5	7.6	2	40	125
Fosforo totale (mg/l)	0.039	0.005	0.096	0.001	0.61	125
Ortofosfato (mg/l)	0.025	0.005	0.074	0.001	0.55	125
Ossigeno disciolto (mg/l)	10.1	10.1	2.3	4.7	17	125
Calcio (mg/l)	75.2	74.7	12.5	48.3	102.4	38

L'intervallo di variazione presentato in Tabella 14 viene presentato sotto forma di boxplot per evidenziare la presenza di valori potenzialmente anomali nel database (figura 30).



Figura 30a cloruri

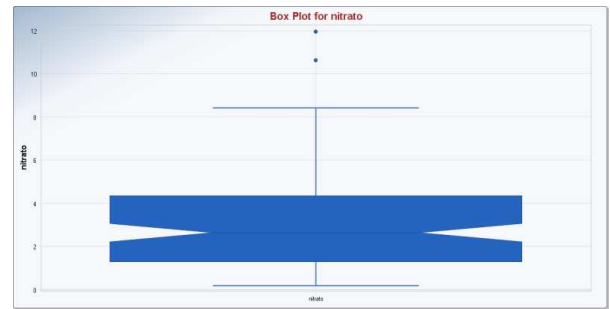


Figura 30c nitrati



Figura 30b nitrito



Figura 30d solfati

Nella figure 30a,30b,30c e 30d si possono notare una serie di punti che fuoriescono dai box plot e i più significativi sono stati individuati attraverso l'*outliers test*.

La tabella 15 riporta i valori ottenuti dall'applicazione dell'*outliers test*.

Tabella 15 outliers test

Parametro	Livello di significatività 5%	Livello di significatività 1%
Temperatura acqua (°C)	/	/
pH	6.8	6.8
Solidi sospesi (mg/l)	283	/
Conducibilità a 20° (μS/cm)	1073	1073
Azoto totale (mg/l)	9.6	9.6
Ammoniaca (mg/l)	0.084	0.084
Nitrato (mg/l)	11.93	11.93
Nitrito (mg/l)	0.219	0.219
Ossigeno disciolto (mg/l)	/	/
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	14	14

COD (mg/l)	40	40
Ortofosfato (mg/l)	0.55	0.55
Fosforo totale (mg/l)	0.61	0.61
Cloruri (mg/l)	62	62
Solfati (mg/l)	311.5	311.5
Durezza (CaCO <sub>3</sub> mg/l)	468	468
Temperatura aria (°C)	/	/
Calcio (mg/l)	/	/

I valori evidenziati dall'outliers test per questo punto di campionamento ARPA non sono particolarmente significativi, l'unico che potrebbe destare qualche attenzione è la concentrazione di 311.5 mg/l di solfati superiore ai limiti di legge di 250 mg/l misurato nell'ottobre del 2007, ma non è l'unico valore anomalo della serie di dati: infatti nel settembre del 2004 si è misurata una concentrazione di 275 mg/l.

I grafici qui riportati rappresentano le serie temporali di pH, conduttività, cloro, solfati, azoto totale, ammoniaca, nitrati e nitriti (figura 31).

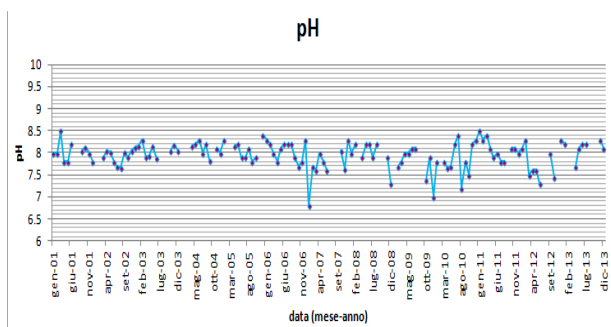


Figura 31a

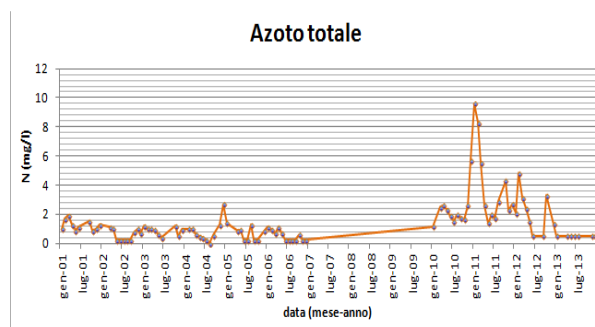


Figura 31c azoto totale

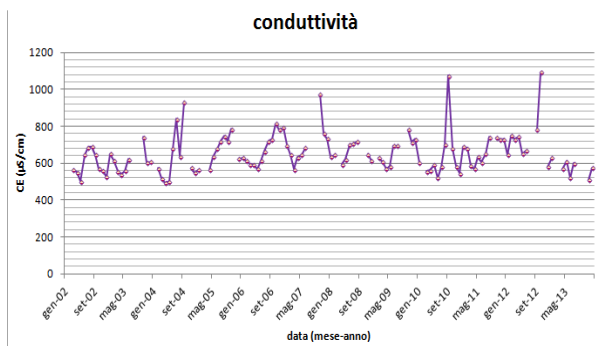


Figura 31b conduttività

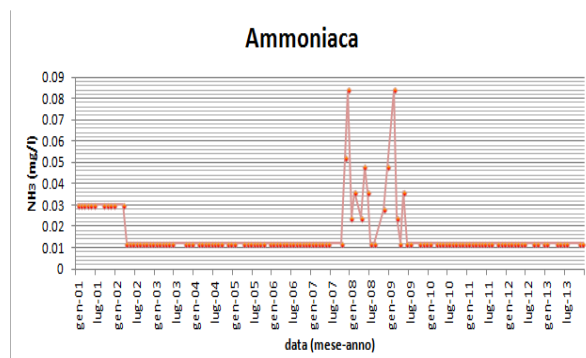


Figura 31d ammoniaca

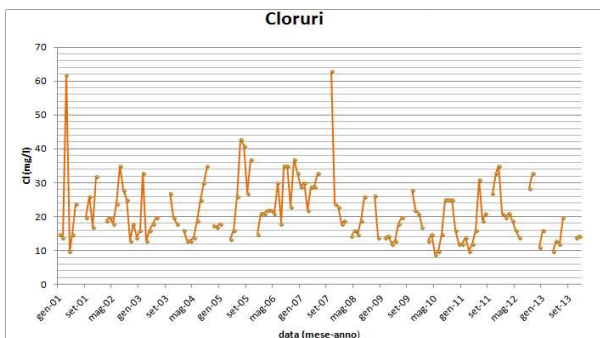


Figura 31e cloruri

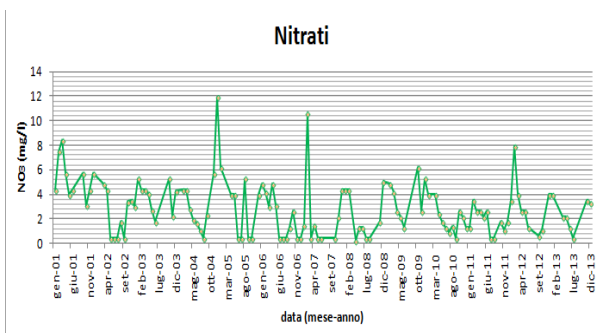


Figura 31f nitrati

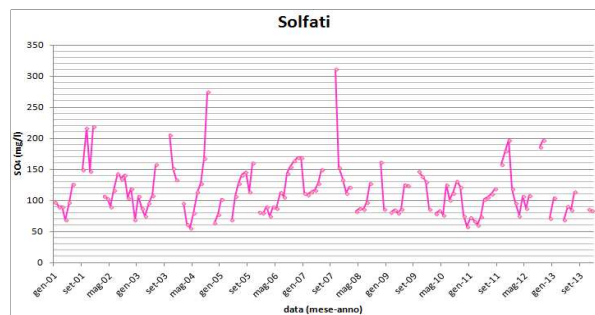


Figura 31g solfati

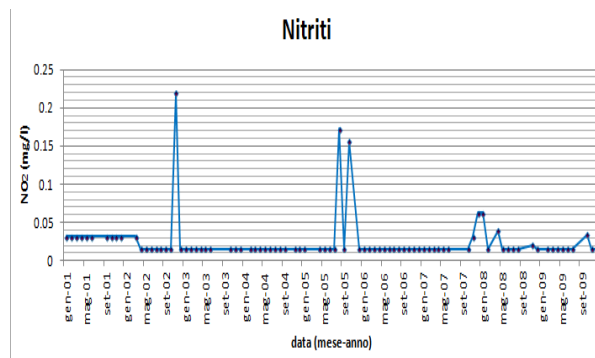


Figura 31h nitriti

La figura 31f presenta un trend piuttosto oscillante con due o tre punti leggermente superiori agli altri valori che corrispondono alle concentrazioni di 11.93 mg/l misurata del dicembre 2004, 10.60 mg/l del febbraio 2007 e 7.95 mg/l del febbraio 2012; in ogni caso sono tutti valori piuttosto bassi e non si possono ritenere dannosi per il sito. Nella figura 31e si possono osservare due picchi di cloruri che corrispondono alle concentrazioni di 62 mg/l misurata nel marzo del 2001 e 63 mg/l dell'ottobre del 2007; anche in questo caso le concentrazioni sono piuttosto basse e non c'è nulla di particolarmente rilevante a parte il superamento dei limiti di background. Anche nella figura 31g sono evidenti delle notevoli oscillazioni del parametro, eppure si nota la presenza di due valori anomali segnalati dai due picchi che corrispondono alle concentrazioni di 275 mg/l del settembre del 2004 e 311.5 mg/l dell'ottobre del 2007. Ciò che si evince da questo grafico è il fatto che in questo punto di campionamento la concentrazione di solfati sia sempre risultata piuttosto alta con dei massimi piuttosto significativi.

Per calcolare i limiti di background si sono utilizzati metodi *2 sigma interativo* e *funzione di distribuzione calcolata* si ottengono i seguenti risultati (tabella 16):

Tabella 16 limiti di background 2 sigma interativo

PARAMETRI	2 $\sigma$ interativo	Funzione di distribuzione calcolata
Temperatura acqua (°C)	28.8	25.072
pH	8.4	8.65

Solidi sospesi(mg/l)	48.5	75.42
Conducibilità a 20° (µS/cm)	760.33	772.45
Azoto totale(mg/l)	1.53	2.094
Ammoniaca(mg/l)	0.012	0.012
Nitrato(mg/l)	5.746	5.92
Nitrito(mg/l)	0.01565	0.005
Ossigeno disciolto(mg/l)	14	14.42
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	1	1.19
COD(mg/l)	18	13.60
Ortofosfato(mg/l)	0.005	0.009454
Fosforo totale(mg/l)	0.01	0.007929
Cloruri(mg/l)	29	28.50779
Solfati(mg/l)	150	156.54
Durezza(CaCO <sub>3</sub> mg/l)	340	350.82
Calcio(mg/l)	81	95.91

I limiti di background calcolati utilizzando due metodiche differenti sono risultati piuttosto simili fra loro ad eccezione dei valori di fondo di ortofosfato, solidi sospesi e azoto totale; comunque nel complesso è possibile affermare che se i valori misurati superano i limiti della tabella 16 allora è probabile che si sia verificato un evento anomalo. Nello specifico si nota che i solfati presentano delle concentrazioni di 217 mg/l e 220 mg/l rispettivamente nei mesi di ottobre e dicembre 2001, molto vicine al limite di legge; in generale si può affermare che i solfati in questo punto di campionamento mantengono delle concentrazioni piuttosto alte nel tempo. I cloruri presentano concentrazioni superiori ai limiti sopra calcolati nei mesi estivi del periodo che va dal 2001 al 2007 e particolarmente negli anni 2005 e 2006 anche i mesi invernali presentano concentrazioni rilevanti, ma sempre inferiori ai limiti di legge. Nel febbraio e marzo del 2001 anche i nitrati presentano delle concentrazioni superiori ai limiti, ma i valori più alti sono stati rilevati nel dicembre del 2004 e nel febbraio del 2007.

#### 5.1.4 Cascata di via Tonale : quarto punto di campionamento ARPA

I parametri statistici riassuntivi per la stazione di Santarcangelo di Romagna sono riportati nella Tabella 17:

Tabella 17 media, deviazione standard, mediana, minimo, massimo, n° osservazioni

parametri	media	mediana	dev.standard	minimo	massimo	n° osservazioni
temperatura acqua (°C)	15.9	17.1	7.1	2.3	27.2	119
temperatura aria (°C)	16.9	17.85	8.48	-1.5	34.5	118
pH	7.7	7.9	0.5	6	8.9	119
Conduttività (µS/cm)	1424	1109	1028	551	9840	119
Durezza (CaCO <sub>3</sub> )	389	371	126	200	1403	119
Azoto totale (mg/l)	2	5	6.6	0.5	27.7	85
Ammoniaca (mg/l)	1.44	0.216	3.27	0.012	19.44	117
Solidi sospesi (mg/l)	47	32	48.	0.5	368	119
Nitrati (mg/l)	21.2	13.26	19.7	0.442	111.826	119
Nitriti (mg/l)	1.1	0.313	2.2	0.01565	13.772	99
Solfati (mg/l)	126	120	57	1	623	119
Cloruri (mg/l)	264	152	353	14	3304	118
BOD5 (mg/l)	2.4	2	1.8	0.5	10	119
COD (mg/l)	21.2	19	15.0	2	73	119
fosforo totale (mg/l)	0.22	0.0825	0.31	0.005	1.4	116
Ortofosfato (mg/l)	0.15	0.05	0.24	0.005	1	119
ossigeno disciolto (mg/l)	8.6	9	3.1	1.8	16.4	119
Calcio (mg/l)	146	92.3	108	71.8	408	19

Osservando la tabella 16 si nota che la media delle concentrazioni dei nitrati del punto di campionamento di via Tonale è fortemente superiore a quella calcolata negli altri siti e ciò potrebbe essere causato da diversi fattori: in primis dal depuratore che negli anni 2001-2006 non riusciva a far fronte al carico di azoto sversandolo direttamente nel fiume Marecchia, in secundis dall'enorme quantitativo di solventi utilizzanti industriali, e dagli insetticidi e pesticidi utilizzati per migliorare la produzione agricola.

Alcuni degli intervalli evidenziati nella tabella 17 verranno rappresentati graficamente attraverso un *multiple box plot* (figura 32)



Figura 32a solfati

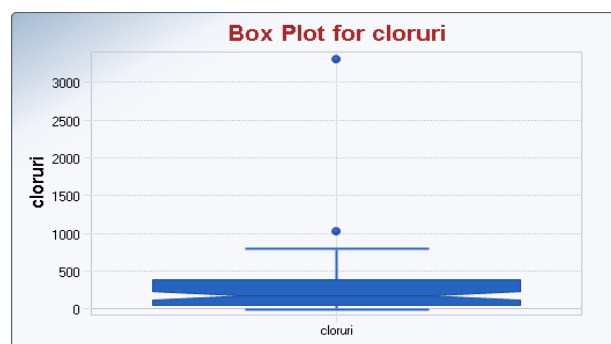


Figura 32b cloruri

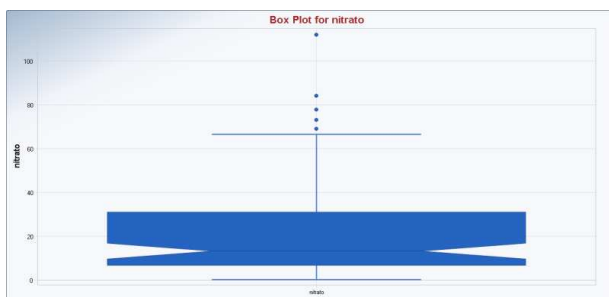


Figura 32c nitrati

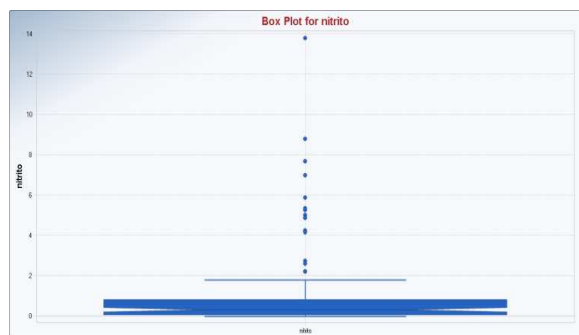


Figura 32d nitriti

Dalla figura 32 si nota che ci sono numerosi punti che fuoriescono dai box e potrebbero segnalare delle anomalie. Alcuni di questi valori sono stati individuati attraverso l'*outliers test* (Tabella 18).

Tabella 18 outliers test

Parametro	Livello di significatività 5%	Livello di significatività 1%
Temperatura acqua (°C)	/	/
pH	/	/
Solidi sospesi(mg/l)	368	368
Conduttività a 20°	9840	9840
Azoto totale(mg/l)	/	/
Ammoniaca(mg/l)	19.44	19.44
Nitrato(mg/l)	111.8	111.8
Nitrito(mg/l)	13.77	13.77
Ossigeno disciolto(mg/l)	/	/
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	10	10
COD(mg/l)	73	/
Ortofosfato(mg/l)	1	/
Fosforo totale(mg/l)	1.4	/
Cloruri(mg/l)	3304	3304
Solfati(mg/l)	623	623
Durezza (CaCO <sub>3</sub> mg/l)	1403	1403
Temperatura aria (°C)	/	/



Dall'outliers test sono emersi valori chiaramente anomali come una concentrazione di cloruri di 3304 mg/l, una concentrazione di solfati di 623 mg/l, durezza di 1403 di mg/l, una concentrazione di nitrati di 111.8 mg/l. e una conduttività di 9840  $\mu\text{S}/\text{cm}$  tutti misurati nell'ottobre 2001 a parte la concentrazione di nitrati dell'agosto 2007. Le concentrazioni elencate sono i massimi delle rispettive serie temporali, ma ci sono molti altri valori che superano notevolmente i limiti di background e i limiti di legge.

I grafici qui riportati rappresentano le serie temporali di pH, conduttività, cloro, solfati, azoto totale, ammoniacale, nitrati e nitriti (figura 33) e sono molto utili per individuare velocemente altri valori particolarmente strani.

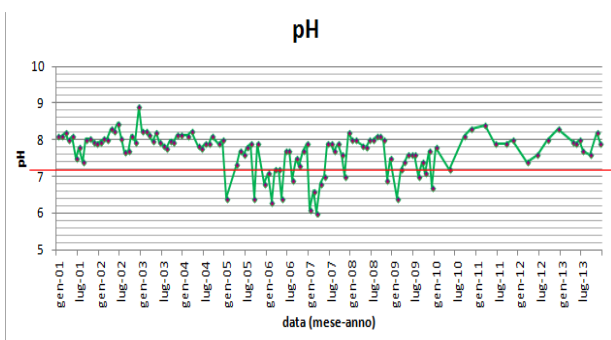


Figura 33a pH

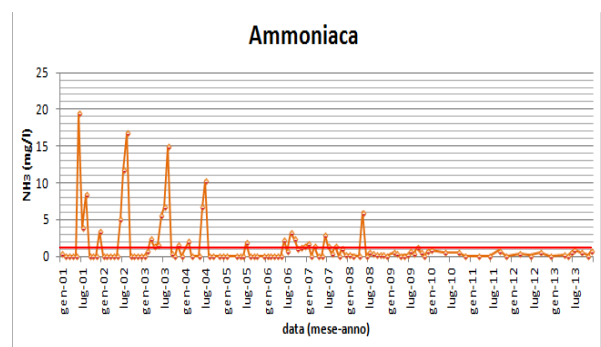


Figura 33d ammoniacale

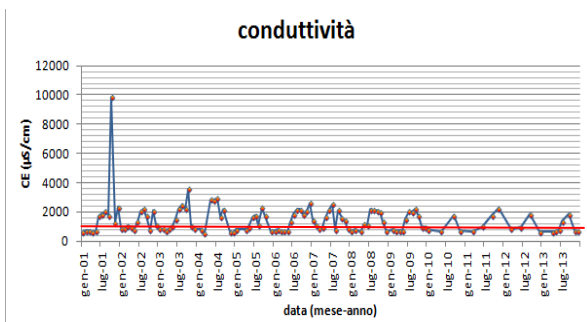


Figura 33b conduttività

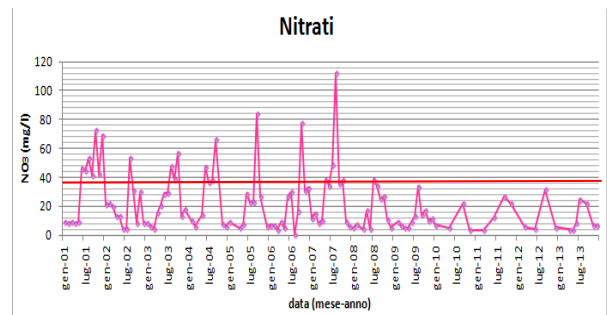


Figura 33e nitrati

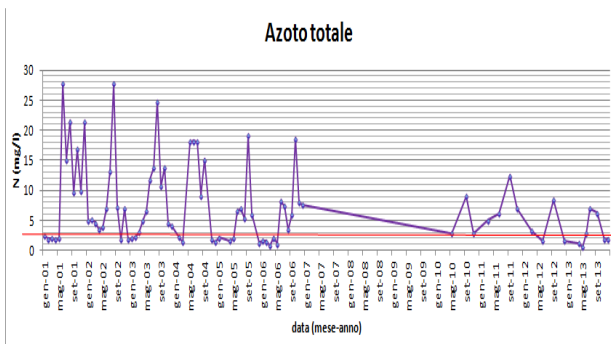


Figura 33c azoto totale

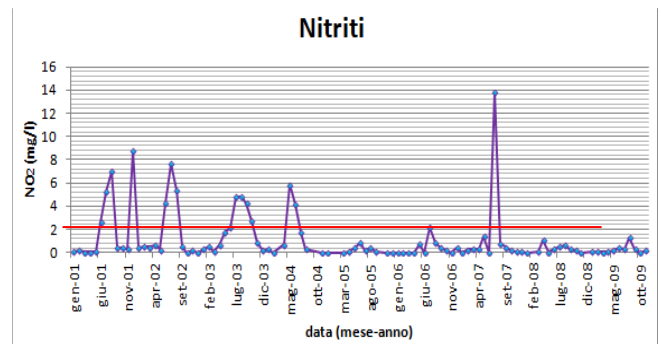


Figura 33f nitriti

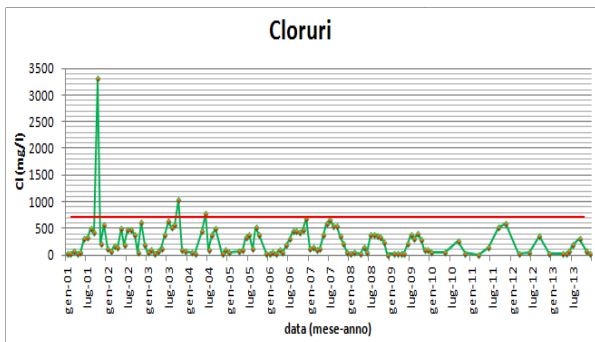


Figura 33g cloruri

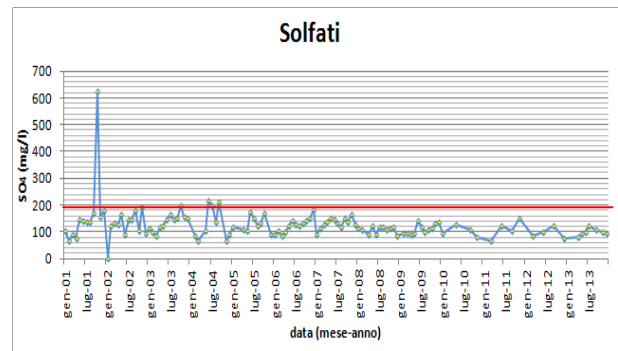


Figura 33h solfati

Nella figura 33a si nota che l'andamento del pH nel periodo 2005-2007 è inferiore alla media, infatti i valori misurati si aggirano intorno al 6.5 ed è strano trovare un pH leggermente acido nelle acque di fiume. La serie storica dei nitrati (Figura 33e) mostra una netta divisione della serie di dati in due parti differenti: la prima evidenzia una serie di concentrazioni molto elevate che si estendono dal 2001 al 2007, mentre la seconda, dal 2007 al 2013, presenta un andamento quasi decrescente delle concentrazioni; ad ogni modo si notano dei picchi che presentano delle concentrazioni di 68.95 mg/l del dicembre 2001, di 57.018 ottobre 2003; 83.98 del settembre 2005 ed un massimo di 111.82 dell'agosto del 2007. In tale figura si può notare un andamento ciclico dei nitrati che nei mesi autunnali e invernali subiscono un forte aumento, al contrario di quelli primaverili e estivi che mostrano delle concentrazioni più basse; la causa di questo fenomeno potrebbe essere riconducibile al depuratore di Santa Giustina che, come è già stato accennato, in quegli anni non riusciva a smaltire completamente il carico di azoto; dal 2008 ad oggi però si può notare una forte diminuzione nella concentrazione dei nitrati probabilmente dovuta alle modifiche sostanziali apportate al depuratore. La figura 33g presenta due o tre picchi che identificano delle concentrazioni elevatissime di cloruri, per esempio 3304 mg/l dell'ottobre 2001 e 1028 mg/l dell'ottobre 2003; ad ogni modo nei mesi estivi/autunnali dal 2001 al 2007 sono state misurate concentrazioni nettamente superiori ai limiti di legge di 250 mg/l. I solfati (figura 34h) mostrano un picco di 623 mg/l dell'ottobre 2001 e un minimo con una concentrazione di 1 mg/l del gennaio 2002. La figura 33d mostra dei valori di ammoniaca assolutamente superiori alla media nel periodo nei mesi estivi del periodo 2001-2004, ma non solo: i valori misurati raggiungono dei massimi di 19.44 mg/l del giugno 2001, 11.76 mg/l del luglio 2002 e 10.24 mg/l del luglio 2004. La figura 33f che mostra l'andamento dei nitriti è un ottimo esempio per asserire che questo sito è notevolmente contaminato in quanto anche in questo caso si notano dei massimi con concentrazioni fortemente superiori ai limiti di legge, come 8.76 mg/l del dicembre 2001.

Successivamente si sono calcolati i limiti di background con i metod:2  $\sigma$  iterativo, funzione di distribuzione calcolata e il metodo descritto dal protocollo APAT. ( Tabella 19

Tabella 19 limiti di background

PARAMETRI	2 $\sigma$ interativo	Funzione di distribuzione calcolata	Protocollo APAT
Temperatura acqua (°C)	27.2	33.69	25.8
pH	8.3	9.38	8.23
Solidi sospesi (mg/l)	46	67.07	138
Conduttività a 20° ( $\mu$ S/cm)	2331	1809.37	2513
Azoto totale (mg/l)	8.33	10.59	21.4
Ammoniaca (mg/l)	0.03	0.53	6.72
Nitrato (mg/l)	10.61	26.50	57.01
Nitrito (mg/l)	0.4695	0.7788	5.321
Ossigeno disciolto (mg/l)	13.5	15.75	13
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	3	3.82	6
COD (mg/l)	38	40.08	48
Ortofosfato (mg/l)	0.005	0.1304	0.72
Fosforo totale (mg/l)	0.005	0.2082	0.92
Cloruri (mg/l)	393	338.95	603
Solfati (mg/l)	155	176.98	184
Durezza (CaCO <sub>3</sub> mg/l)	503	501.16	564
Calcio (mg/l)	128.2	94.62	123

I limiti di background calcolati in questo sito sono differenti a seconda del metodo statistico utilizzato e probabilmente ciò deriva dalla forte variabilità dei dati analizzati, quindi è impossibile prendere uno di questi valori come riferimento perchè sicuramente sarà un valore falsato dalle alte concentrazioni misurate.

## 5.2 Acque sotterranee: dati ARPA

I dati che sono stati forniti da ARPA sono molto numerosi e riguardano caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua, componenti organiche ed inorganiche; in questo lavoro di tesi sono stati analizzati 14 parametri. I dati valutati riguardano:

- alcalinità totale;

- calcio;
- cloruri;
- conduttività;
- durezza;
- ferro ;
- Floruri;
- Magnesio;
- Potassio;
- Piombo;
- Nitrato;
- Solfato;
- Sodio;
- Temperatura.

Durante l'elaborazione dei dati è stata anche considerata la concentrazioni di alcuni metalli quali piombo, zinco e rame per ottenere un'analisi più dettagliata delle acque sotterranee.

Le coordinate dei punti dove sono stati realizzati i campionamenti sono riportati nella tabella sottostante e hanno come sistema di riferimento ED50 UTM 32. (Tabella 20)

**Tabella 20 coordinate pozzi, profondità pozzo, profondità filtro, classificazione acquifero, quota piano campagna**

sigla pozzo	coord x	coord y	profondità pozzo (m)	profondità filtro (m da p.c.)	classificazione acquifero	quota piano campagna (m)
RN21-02	779280	4882814	53,6	39,5-44,5	conoide amalgamata	17,2
RN29-00	777808	4887606	37	24,4-27,4	A1	
RN30-00	781377	4887507	28	12,00-27,00	conoide amalgamata	
RN31-01	784080	4885274	31	25,4-28,4	A1 sup	
RN33-00	777670	4884250	58		conoide amalgamata	37,5
RN33-01	776388	4884225	27		pianura intravalliva	
RN34-00	785440	4884660	30	26,6-29,5	A1	4,62
RN59-00	778940	4890868	260		da A1 a >A2	
RN60-01	778901	4885647	78	65,5-71,5	A2	28,5
RN61-00	784329	4886753	90	82,00-85,3	A1	2,3
RN63-01	786360	4882003	7			
RN71-00	780399	4887105	101,2	90,7-96,7	A2	17,7
RN72-00	781285	4885183	105	89-101	A2	17,75
RN73-00	782448	4885716	45,8	35,4-38; 40,8-44,8	A1 sup	
RN74-00	780710	4890088	25	20,45-23,55	A1 sup	1,5

Come si può notare dalla tabella riportata sopra, i punti di campionamento sono distribuiti su una vasta area di territorio senza un ordine prestabilito, pertanto si può affermare che i campioni raccolti rappresentino bene la zona di studio 4; in tabella sono state anche riportate altre variabili che caratterizzassero meglio i pozzi analizzati, sebbene non sia stato possibile fornire la serie completa di dati.

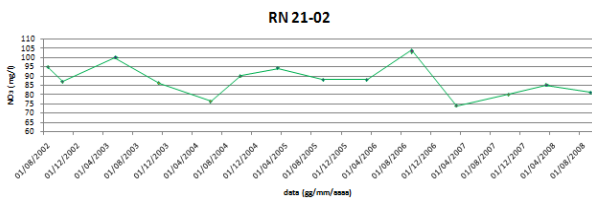
La Tabella 21 rappresenta la media dei valori calcolati dei parametri analizzati nel corso degli anni per ogni pozzo valutato.

**Tabella 21**media valori pozzi

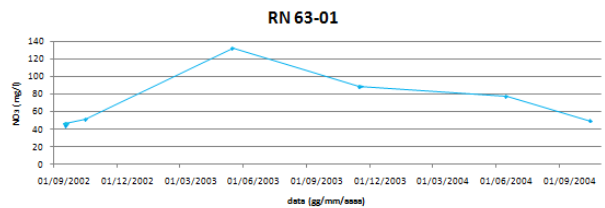
n pozzi	coord. e	coord. s	n osserv	Alluminio	Argento	Arsenico	Bario	Cadmio	Cloruri	Conducibilità	Cromo totale	Cromo VI	Durezza	Ferro	Fluoruri	Ione ammonio	Magnesio	Manganese	Nitriti	Nitri	Piombo	Potassio	Rame	Sodio	Solfati	Temperatura	Zinco
PN1 21-02	773280	4882204	16	0,05	0	387,57	0	140,94	50,06	972	0	0	440,63	0,03	0,32	0,01	19,90	0,01	87,73	0,01	0,00	2,72	0	43,02	71,25	14,51	0,04
PN1 23-00	777800	4897908	44	0,05	0	342,00	0	127,03	31,67	851	0	0	433,73	0,04	0,20	0,02	24,92	0,01	36,27	0,01	0,00	3,13	0,01	35,20	138,49	14,90	0,16
PN1 24-00	780377	4897907	42	0,05	0	394,74	0	132,71	41,61	927	0	0	468,80	0,03	0,23	0,02	30,12	0,01	51,62	0,01	0,00	2,89	0	39,21	116,50	13,47	0,03
PN1 24-01	784060	4895774	15	0,05	0	432,85	0	163,68	121,72	1252	0	0	576,12	0,02	0,10	0,01	34,00	0,02	44,62	0,01	0,01	4,28	0,02	73,94	128,83	15,21	0,01
PN1 32-00	777670	4894250	44	0,05	0	282,50	0	94,48	21,35	847	0	0	302,94	0,05	0,18	0,02	20,00	0,01	7,85	0,01	0,00	0,00	0	35,38	103,94	14,90	0,01
PN1 33-01	776388	4894225	16	0,05	0	389,71	0	171,1	34,01	930	0	0	445,19	0,05	0,28	0,01	22,95	0,00	38,22	0,01	0,00	3,98	0	41,18	124,51	15,28	0,02
PN1 34-00	785440	4894680	42	0,02	0	426,12	0	167,63	103,08	1094	0	0	495,31	0,05	0,12	0,02	27,12	0,01	21,24	0,01	0,00	3,01	0	64,03	106,85	15,54	0,02
PN1 60-01	778901	4895647	16	0,05	0	275,21	0	80,66	20,5	847	0	0	292,63	0,02	0,14	0,01	17,31	0,01	7,83	0,01	0,00	2,19	0	34,58	102,94	13,88	0,01
PN1 61-00	784229	4896753	42	0	0	250,17	0	71,42	19,91	933	0	0	290,70	0,05	0,19	0,01	15,60	0,01	2,92	0,01	0,00	2,12	0	30,63	60,00	14,47	0,02
PN1 63-01	786380	4882003	6	0,05	0	534,33	0	158,5	90,67	1277	0	0	647,67	0,01	0,50	0,01	56,33	0,18	73,88	0,01	0,00	0,65	0	69,67	138,83	17,05	0,01
PN1 71-00	780389	4887006	16	0,05	0	275,50	0	96,44	24,61	876	0	0	328,44	0,01	0,22	0,01	17,90	0,00	18,91	0,01	0,00	2,07	0	34,54	104,97	13,94	0,01
PN1 72-00	780285	4885803	16	0,05	0	293,07	0	63,88	35,38	838	0	0	201,56	0,38	0,26	0,04	12,93	0,15	1,08	0,01	0,00	2,04	0	48,07	8,29	14,05	0,01
PN1 73-00	782489	4885716	16	0,05	0	287,57	0	97,04	30,44	738	0	0	322,44	0,01	0,21	0,01	21,12	0,00	10,94	0,01	0,00	3,32	0	42,09	124,44	14,53	0,01
PN1 74-00	780710	4890088	16	0,05	0	387,84	0	116,92	43,08	881	0	0	394,13	0,08	0,23	0,01	27,13	0,01	29,02	0,01	0,00	2,94	0	40,66	88,29		

Nella Tabella 21 si può notare che la maggior parte dei parametri hanno concentrazioni inferiori ai limiti di legge e non particolarmente significative, ad eccezione dello ione nitrato che presenta una concentrazione media di 87.72 mg/l per il pozzo RN 21-02, una concentrazione media del pozzo RN 63-01 di 73.88 mg/l e per il pozzo RN 31-01 si è calcolata una media delle concentrazioni di 44.51 mg/l; le prime risultano maggiori dei limiti di legge, mentre la seconda si avvicina molto al valore limite di 50 mg/l.

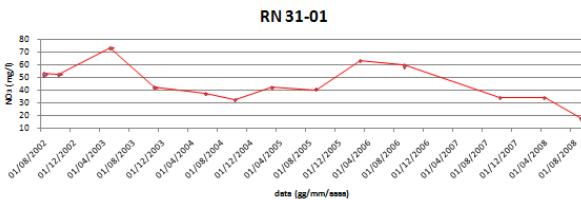
Per capire meglio l'andamento dello ione nitrato nel tempo sono stati costruiti i grafici delle serie temporali dei pozzi nei quali si sono determinate concentrazioni anomale. (Figura 34)



**Figura 34a** RN 21-02



**Figura 34b** RN 63-01



**Figura 34c** RN 31-01

In figura 34a si notano delle concentrazioni piuttosto oscillanti tra 70 mg/l e 110 mg/l con un picco di 104 mg/l del settembre 2006 ed uno di 100 mg/l del maggio 2003; la figura 34b purtroppo presenta solo cinque dati con un picco misurato nel maggio 2003 di 132 mg/l; la figura 34c mostra un andamento nel complesso decrescente con due o tre picchi di 73 mg/l del maggio 2003, di 63 mg/l del marzo 2006 e 59.7 mg/l del settembre 2006.

È interessante notare che le concentrazioni più alte sono state determinate tutte nel marzo 2003 e nel settembre 2006, ma anche la posizione dei pozzi non è da sottovalutare; infatti il pozzo 31-01 è ubicato via Tonale, in corrispondenza del quarto punto di campionamento ARPA e aveva mostrato concentrazioni anomale anche di cloruri e superiori ai limiti di legge nell'ottobre 2003.

Per capire le origini degli elementi misurati nelle acque sotterranee si è scelto di applicare una serie di formule tratte dal libro " Water quality data, Analysis and Interpretation" di Hounslow , (1995) molto utili per la trattazione dei dati.

Nella tabella 22 sono stati riportati tutti i valori ottenuti dall'applicazione delle formule suggerite dal libro appena citato che hanno fornito delle chiare indicazioni sulle possibili origini degli elementi ritrovati nelle acque.

**Tabella 22 risultati**

n°pozzi	$\frac{(Na^+ + K^+ - Cl^-)}{(Na^+ + K^+ - Cl^- + Ca^{2+})}$	$\frac{Na^+}{(Na^+ + Cl^-)}$	$\frac{(Mg^{2+})}{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}$	$\frac{Ca^{2+}}{(Ca^{2+} + SO_4^{2-})}$	$\frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{SO_4^{2-}}$	$\frac{Cl^-}{(HCO_3^- + F^- + Cl^- + NO_2^- + Br^- + NO_3^- + PO_4^{3-} + SO_4^{2-})}$	$\frac{HCO_3^-}{(HCO_3^- + F^- + Cl^- + NO_2^- + Br^- + NO_3^- + PO_4^{3-} + SO_4^{2-})}$
RN 21-02	-0.09	0.42	0.12	0.66	2.25	0.09	1.13
RN 29-00	0.45	0.81	0.00	0.89	8.52	0.08	7.19
RN 30-00	0.004	0.48	0.18	0.53	1.41	0.07	1.74
RN 31-01	-0.50	0.35	0.17	0.55	1.52	0.21	1.42
RN 33-00	0.18	0.62	0.19	0.43	0.95	0.05	1.81
RN 33-01	0.07	0.54	0.14	0.51	1.23	0.06	1.97
RN 34-00	-0.29	0.38	0.14	0.59	1.72	0.18	1.83
RN 60-01	0.16	0.62	0.17	0.43	0.95	0.05	2.09
RN 61-00	0.16	0.61	0.17	0.54	1.45	0.04	1.41
RN 63-01	0.23	0.60	0.00	0.90	9.30	0.16	4.91
RN 71-00	0.11	0.58	0.15	0.47	1.08	0.06	1.85
RN 72-00	0.21	0.57	0.19	0.86	8.05	0.11	6.64
RN 73-00	0.13	0.58	0.17	0.43	0.94	0.07	1.73
RN 74-00	0.00	0.48	0.18	0.56	1.63	0.08	2.28

Dalla tabella sopra riportata si evince che tutte le acque sono entrate in contatto con rocce calcaree e dolomitiche, carbonatiche e silicatiche e non ci sono stati apporti di cloro di origine marina e non c'è stata dedolomizzazione; in più :

- le acque del pozzo RN 21-02 non dovrebbero aver eroso plagioclasti e non dovrebbero essere entrati in contatto con albite; e il calcio contenuto potrebbe derivare da carbonati, dolomite o silicati;
- le acque del pozzo RN 29-00 potrebbero aver causato l'alterazione di plagioclasti e una possibile fonte del sodio riscontrato potrebbe essere l'albite; e il calcio contenuto potrebbe derivare da carbonati, dolomite o silicati;
- le acque del pozzo RN 30-00 non dovrebbero essere entrate in contatto con plagioclasti, né albite; e il calcio contenuto potrebbe derivare da carbonati, dolomite o silicati, per esempio pirosseni;
- le acque del pozzo RN 31-01 non dovrebbero aver eroso plagioclasti e nemmeno albite; e il calcio contenuto potrebbe derivare da carbonati, dolomite o silicati;
- le acque del pozzo RN 33-00 potrebbero non essere entrate in contatto con plagioclasti, ma il valore ottenuto dall'applicazione della seconda significa che potrebbe esserci stato un contatto con l'albite; e il calcio contenuto potrebbe derivare da carbonati, dolomite o silicati;

- le acque del pozzo RN 33-01 non dovrebbero essere entrate in contatto con plagioclasti, ma c'è una possibile influenza di albite; e il calcio contenuto potrebbe derivare da carbonati, dolomite o silicati;
- le acque del pozzo RN 34-00 non dovrebbero essere entrate in contatto con plagioclasti né albite; e il calcio contenuto potrebbe derivare da carbonati, dolomite o silicati;
- le acque del pozzo RN 60-01 non dovrebbero aver eroso plagioclasti, però il valore ottenuto dall'applicazione della seconda formula ci dice che ci potrebbe essere stata un'influenza da parte dell'albite; e potrebbe esserci stata perdita di calcio a causa di reazioni di precipitazione o scambio ionico;
- le acque del pozzo RN 61-00 non dovrebbero essere entrate in contatto con plagioclasti, però potrebbe essere entrato in contatto con albite; e il calcio contenuto potrebbe derivare da carbonati, dolomite o silicati;
- le acque del pozzo RN 63-01 potrebbero essere entrate in contatto con plagioclasti e albite; e il calcio contenuto potrebbe derivare da carbonati, dolomite o silicati;
- le acque del pozzo RN 71-00 non dovrebbero aver eroso plagioclasti durante il loro corso, ma potrebbe esserci un' influenza dell'albite; potrebbe esserci stata precipitazione di calcio o perdita di calcio a causa di reazioni di scambio ionico;
- le acque del pozzo RN 72-00 potrebbero aver incontrato plagioclasti e albite; e il calcio contenuto potrebbe derivare da carbonati, dolomite o silicati;
- le acque del pozzo RN 73-00 non dovrebbero essere entrate in contatto con plagioclasti, però l'applicazione della seconda formula ci dà un valore che segnala una possibile influenza da parte dell'albite; e potrebbe esserci stata precipitazione di calcite o perdita di calcio ad opera di reazioni di scambio ionico;
- le acque del pozzo RN 74-00 non dovrebbero essere state influenzate da plagioclasti né da albite; e il calcio contenuto potrebbe derivare da carbonati, dolomite o silicati.

I risultati ottenuti dall'analisi appena svolta sono piuttosto coerenti con la geologia della conoide descritta nei capitoli precedenti, in quanto è possibile riscontrare formazioni calcaree e silicatiche negli acquiferi A1 e A2 (tabella 20); l'unica anomalia riscontrata riguarda l'origine del cloro, infatti i pozzi situati più vicino alla costa potrebbero essere entrati in contatto con cloro marittimo.

I grafici seguenti sono stati ottenuti utilizzando la funzione *stiff diagrams* del programma Grapher 8 e rappresentano bene tutti i pozzi valutati; infatti la maggior parte di essi ha prodotto dei grafici con forme simili ad un esagono irregolare riconducibile ad una possibile erosione da parte dell'acqua di falda di rocce calcaree, un esempio è riportato nella figura 10a; altri invece portano alla formazione di figure diverse come quella della figura 10b che manifesta una forte concentrazione di sodio rispetto a quella di cloro e potrebbe derivare dal fatto che il sodio possa avere altre origine oltre alla salgemma.

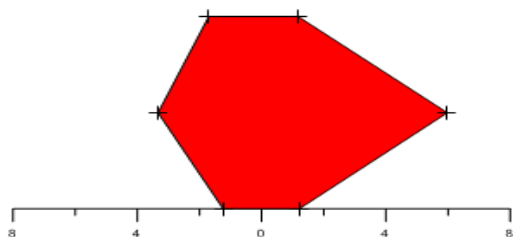


Figura 35 astiffdiagram pozzo RN 30-00

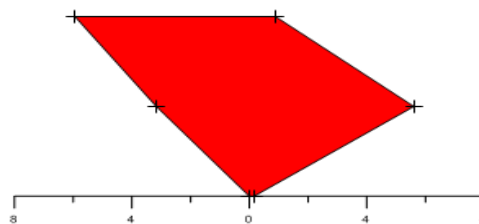


Figura 35b pozzo 21-02

### 5.3 Acque superficiali: dati acquisiti

Le analisi effettuate sui 20 campioni descritti nel paragrafo 4. si sono focalizzate principalmente sulla ricerca degli ioni nitrato e nitrito, poiché il lavoro di tesi avrebbe trattato in maniera più approfondita il tema dell'azoto e dei suoi composti.

Nella tabella 23 sono state riportate le loro coordinate dei punti di campionamento:

Tabella 23 coordinate dati acquisiti

n° campione	coordinata est	coordinata nord
E30	304834	4877152
E31	304491	4875564
E32	305210	4875804
E33	302562	4874460
E34	304818	4876331
E35	302046	4879818
E36	303893	4881985
E37	302866	4881545
E38	299594	4880821
E39	295327	4879437
E40	296782	4880603
E41	300066	4881917
E42	292958	4876383
E43	291929	4873333
E44	286718	4868094
E45	284680	4866396
E46	283237	4864935
E47	282634	4863181
E48	281805	4860835
E49	277652	4855626

Le coordinate sono stati misurate attraverso un GPS ed hanno come sistema di riferimento il WGS 84.



In Tabella 24 sono riportati i dati ottenuti dalle analisi dirette sui campioni raccolti in campo.

Tabella 24 dati acquisiti

sigla	Na <sup>+1</sup>	K <sup>+1</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	F <sup>-1</sup>	Cl <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-1</sup>	Br <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+1</sup>	coordinata_est	coordinata_nord
E30 F	64,7	5,6	101,1	34,3	498,68	0,695	92,673	1,552	0,393	11,528	0,826	90,997	2,1	304834	4877152
E31 F	84,3	4,8	103,0	39,3	530,7	0,538	107,89	0,203	0,485	15,726		107,185	0,5	304491	4875564
E32 F	53,5	3,2	130,5	30,0	503,25	0,405	90,185	0,538	0,316	13,066	0,254	77,445	0,3	305210	4875804
E33 F	141,4	12,7	114,8	39,9	509,35	0,298	174,18	1,860	0,417	8,357	1,468	142,130	12,0	302562	4874460
E34 F	43,1	3,2	120,7	28,6	518,5	0,375	73,481	1,116	0,318	17,681	1,811	75,903	3,25	304818	4876331
E35 F	97,7	3,5	103,0	30,9	585,6	0,803	91,317	0,181	0,360	5,773		79,485	0,45	302046	4879818
E36 F	116,2	11,3	93,2	36,1	362,95	0,190	196,2		0,535	7,288		145,320	0,11	303893	4881985
E37 F	125,1	13,1	86,6	34,3	317,2	0,139	202,5		0,548	6,949		138,854	0,09	302866	4881545
E38 F	35,0	5,6	59,0	22,2	225,7	0,136	19,743			1,701		141,769	0,01	299594	4880821
E39 F	33,6	5,5	63,3	21,9	244	0,128	18,409			1,587		130,690	0,03	295327	4879437
E40 F	34,7	5,6	60,9	22,4	250,1	0,149	18,042			1,691		127,770	0,00	296782	4880603
E41 F	35,6	5,7	54,8	22,2	210,45	0,123	18,557			1,701		126,203	0,00	300066	4881917
E42 F	38,77	4,94	86,4	22,1	250,1	0,136	18,579			1,554		134,877	0,22	292958	4876383
E43 F	62,92	5,17	95,25	19,87	250,1	0,128	18,294			3,863		118,438	0,00	291929	4873333
E44 F	25,32	3,63	96,95	18,46	256,2	0,127	11,719			1,069		130,591	0,00	286718	4868094
E45 F	24,35	2,99	53,13	16,48	219,6	0,119	10,922			0,15		55,894	0,01	284680	4866396
E46 F	34,07	4,86	83,54	14,86	253,15	0,105	22,951	0,25		3,577		58,883	0,00	283237	4864935
E47 F	22,21	4,62	61,04	18,26	224,18	0,131	10,426			0,511		54,782	0,00	282634	4863181
E48 F	20,03	2,82	68,54	19,69	225,7	0,125	9,450			0,5		50,339	0,00	281805	4860835
E49 F	18,46	2,92	69,68	17,75	250,1	0,119	7,683			0,593		52,306	0,00	277652	4855626

Nella tabella 24 è facile notare che l'andamento di quasi tutti i parametri analizzati è decrescente da mare verso monte e le concentrazioni più alte sono state tutte determinate nei campioni Le figura 36 comprende i grafici di calcio, sodio, solfati e cloruri ottenuti costruiti grazie al software QGIS.

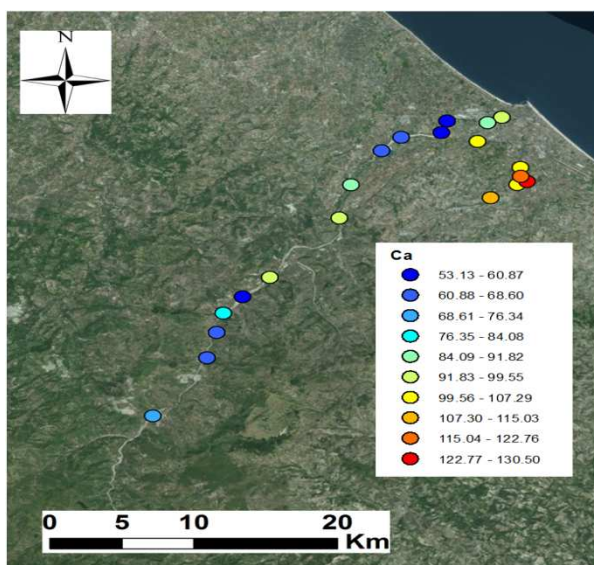


Figura 36a xyz Ca

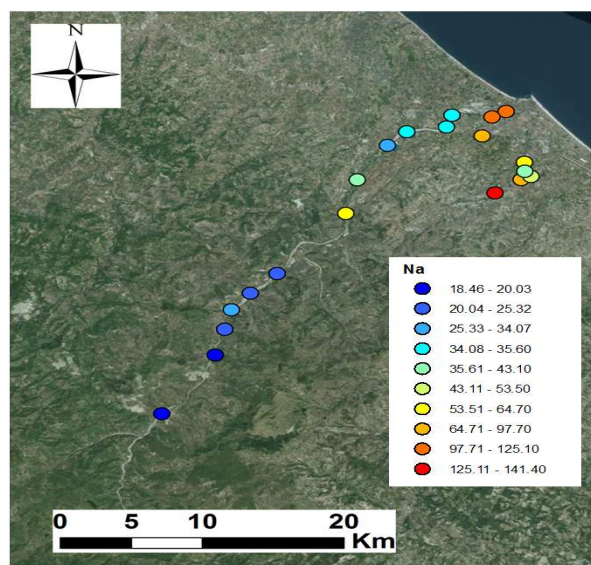


Figura 36b xyz circle Na

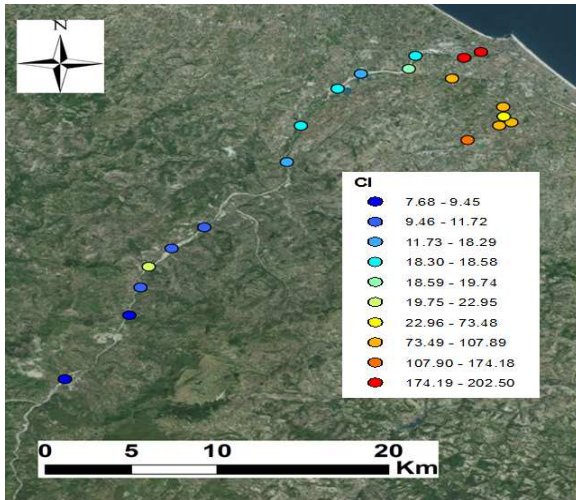


Figura 36c xyz circle Cl

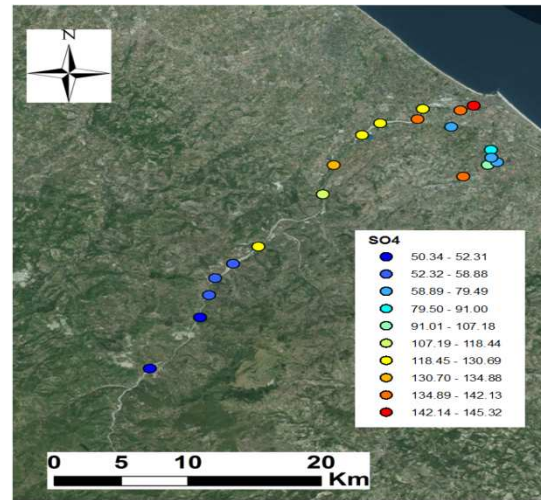


Figura 36d xyz circle SO4

La figura 36 mostra che le concentrazioni più alti di quasi tutti gli elementi si trovano nella zona più vicina al mare e nel Torrente Ausa, l'unica eccezione è il solfato che mantiene concentrazioni piuttosto elevate anche nelle zone più distanti dal mare, probabilmente a dovute ad origini differenti.

La figura 37 rappresenta la correlazione che può esistere fra due variabili ed è stato ottenuto utilizzando il software excel.

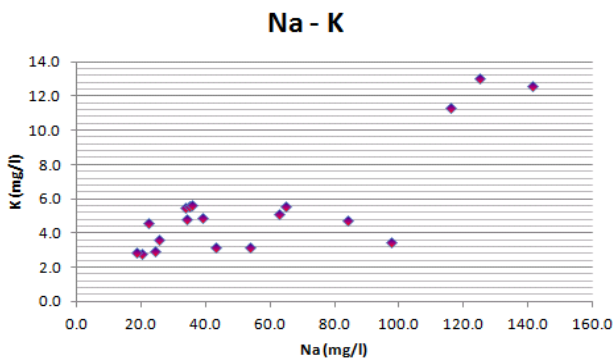


Figura 37a binary plot Na e K

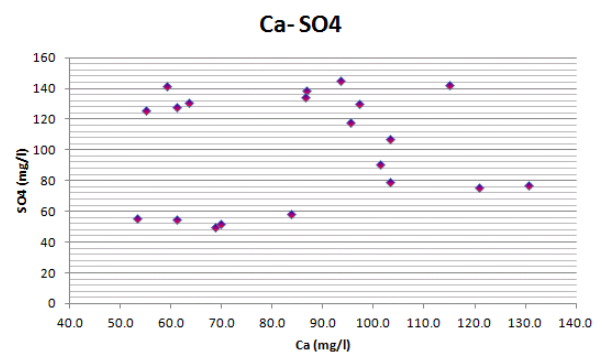


Figura 37c binary plot Ca e SO4

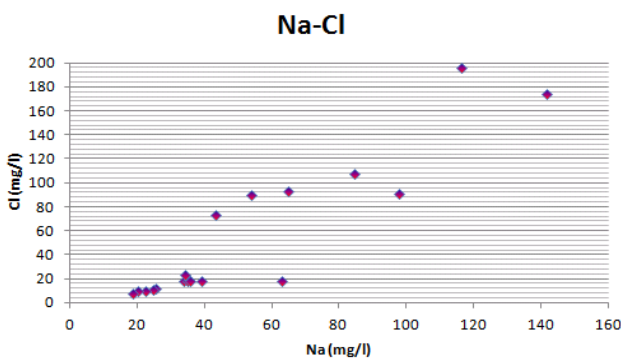


Figura 37b binary plot Cl e Na

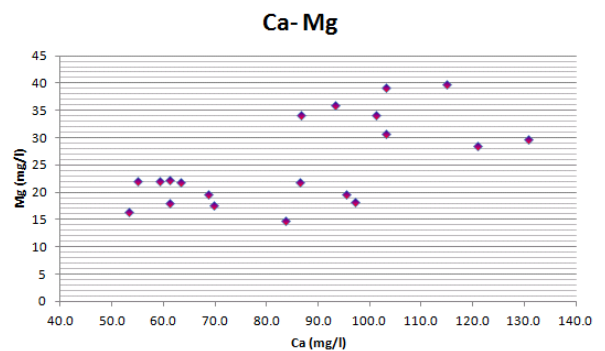


Figura 37d binary plot Ca e Mg

La figura 37b mostra un'ottima correlazione fra le variabili cloro e sodio perchè i punti rappresentati sono distribuiti lungo la bisettrice e ciò potrebbe significare che hanno origini comuni; al contrario il calcio e i solfati (figura 37c) sono distribuiti in maniera del tutto casuale che potrebbe significare che non provengono dalla stessa tipologia di roccia.

Per avere un' ulteriore conferma delle ipotesi appena formulate si è ritenuto necessario costruire una matrice di correlazione (Tabella 25).

Tabella 25 correlazione dati acquisiti

	$Na^{+1}$	$K^{+1}$	$Ca^{+2}$	$Mg^{+2}$	$HCO_3^{-1}$	$F^{-1}$	$Cl^{-1}$	$NO_3^{-1}$	$SO_4^{-2}$	$NH_4^{+1}$
$Na^{+1}$	1									
$K^{+1}$	0.8099	1								
$Ca^{+2}$	0.5338	0.1388	1							
$Mg^{+2}$	0.8617	0.6031	0.6324	1						
$HCO_3^{-1}$	0.6124	0.1274	0.8288	0.8035	1					
$F^{-1}$	0.4118	-0.099	0.5981	0.6295	0.8875	1				
$Cl^{-1}$	0.9344	0.7966	0.5601	0.8889	0.6236	0.3826	1			
$NO_3^{-1}$	0.4862	0.1402	0.8083	0.7503	0.856	0.6565	0.5968	1		
$SO_4^{-2}$	0.4711	0.6497	0.0573	0.396	-0.027	-0.141	0.3832	0.0144	1	
$NH_4^{+1}$	0.5384	0.4742	0.4439	0.5189	0.4763	0.2162	0.4519	0.3484	0.2037	1

La tabella 25 rappresenta la matrice di correlazione fra le variabili  $Na^{+}$ ,  $K^{+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^{-}$ ,  $F^{-}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $NO_3^{-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NH_4^{+}$  e i numeri valori rappresentano i coefficienti di correlazioni fra tali parametri.

Le celle evidenziate in giallo mostrano le variabili che presentano una correlazione più elevata, nello specifico superiore a 0.65, i parametri che presentano una maggiore correlazione sono sodio e potassio, magnesio e sodio, calcio e bicarbonato, magnesio e bicarbonato, cloro e potassio, fluoro e nitrato, magnesio e nitrato, bicarbonato e nitrato, calcio e nitrato; ma il coefficiente di correlazione più alto è di 0.93 ed è quello fra cloro e sodio. Tutte queste affinità fra le variabili potrebbero essere sintomo di origini comuni, per esempio la presenza di questi parametri nelle acque potrebbe essere dovuta all'erosione di diversi tipi di rocce.

Grazie alle linee guida del libro "Water quality data, Analysis and Interpretation" di Hounslow è stato possibile identificare la possibile provenienza di alcuni parametri; per iniziare si sono applicate ai dati acquisiti una serie di formule per ogni sito di campionamento che hanno prodotto i seguenti risultati.

Tabella 26 risultati

n° campioni	$\frac{(Na^+ + K^+ - Cl^-)}{(Na^+ + K^+ - Cl^- + Ca^{2+})^{\frac{1}{2}}}$	$\frac{Na^+}{(Na^+ + Cl^-)^{\frac{1}{2}}}$	$\frac{(Mg^{2+})}{(Ca^{2+} + Mg^{2+})^{\frac{1}{2}}}$	$\frac{Ca^{2+}}{(Ca^{2+} + SO_4^{2-})^{\frac{1}{2}}}$	$\frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{SO_4^{2-}}$	$\frac{Cl^-}{(HCO_3^- + F^- + Cl^- + NO_2^- + Br^- + NO_3^- + PO_4^{3-} + SO_4^{2-})^{\frac{1}{2}}}$	$\frac{HCO_3^-}{(HCO_3^- + F^- + Cl^- + NO_2^- + Br^- + NO_3^- + PO_4^{3-} + SO_4^{2-})^{\frac{1}{2}}}$
E30 F	-0,28	0,41	0,25	0,53	1,11	0,13	0,72
E31 F	0	0,44	0,28	0,49	0,96	0,14	0,70
E32 F	-0,3	0,37	0,19	0,63	1,69	0,13	0,73
E33 F	-0,2	0,45	0,26	0,45	0,81	0,21	0,61
E34 F	-0,3	0,37	0,19	0,61	1,59	0,11	0,75
E35 F	0,1	0,52	0,23	0,56	1,30	0,12	0,77
E36 F	-2,80	0,37	0,28	0,39	0,64	0,28	0,51
E37 F	-2,88	0,38	0,28	0,38	0,62	0,30	0,48
E38 F	0,26	0,64	0,27	0,29	0,42	0,05	0,58
E39 F	0,25	0,65	0,26	0,33	0,48	0,05	0,62
E40 F	0,27	0,66	0,27	0,32	0,48	0,05	0,63
E41 F	0,29	0,66	0,29	0,30	0,43	0,05	0,59
E42 F	0,23	0,68	0,20	0,39	0,64	0,05	0,62
E43 F	0,34	0,77	0,17	0,45	0,80	0,05	0,64
E44 F	0,15	0,68	0,16	0,43	0,74	0,03	0,64
E45 F	0,24	0,69	0,24	0,49	0,95	0,04	0,77
E46 F	0,16	0,60	0,15	0,59	1,42	0,07	0,75
E47 F	0,21	0,68	0,23	0,53	1,11	0,04	0,77
E48 F	0,16	0,68	0,22	0,58	1,36	0,03	0,79
E49 F	0,16	0,71	0,20	0,57	1,33	0,02	0,80

Dalla tabella 26 è emerso che :

- i punti di campionamento da E30 a E37, E44, E46, E48 e E49 probabilmente presentano delle acque che non sono entrate in contatto con plagioclasti;
- i punti di campionamento da E38 a E49 hanno come probabile fonte di sodio l'albite oppure la presenza di questo elemento potrebbe essere dovuta a reazione di scambio ionico;
- tutte le acque campionate mostrano segni di weathering di calcare, rocce dolomitiche o granitiche che potrebbe aver causato la presenza di calcio e magnesio nei campioni;
- le acque campionate nei punti E30, E32, E34, E35, da E46 a E49 probabilmente sono entrate in contatto con carbonati, gesso o silicato che hanno aumentato la concentrazione di calcio nei campioni;
- nelle acque dei campioni E30, E31, E33, E43 e E47 potrebbe essere avvenuta la dedolomizzazione;
- il cloro determinato nelle acque potrebbe provenire da rocce che sono state erose e non da influenze marine;
- la concentrazione di carbonato per tutti i campioni potrebbe essere dovuta o ad erosione di gesso oppure da infiltrazione di acqua marina; ad eccezione del campione E49 che presuppone erosione di rocce carbonatiche o silcatiche.

Ciò che si evince dall'applicazione delle formule descritte sopra è coerente con ciò che è stato scritto nel capitolo della caratterizzazione del sito, infatti è molto plausibile che il cloro determinato nei campioni provenga in parte dall'acqua di mare e che il sito E49, il più distante dal mare non mostri questo tipo di influenze; è molto verosimile anche una possibile alterazione di calcare , rocce dolomitiche o granitiche da parte dell'acqua da cui avrebbe potuto ricavare forti concentrazioni di calcio.

La figura 38 mostra gli *stiff diagrams*, che per quasi tutti i punti di campionamento sono simili ad un esagono irregolare (Figura 38a) e che segnalano che una possibile origine degli elementi nelle acque potrebbe essere dovuta all'erosione di rocce calcaree.

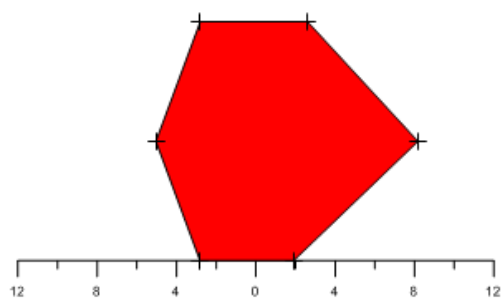


Figura 38a stiff E30

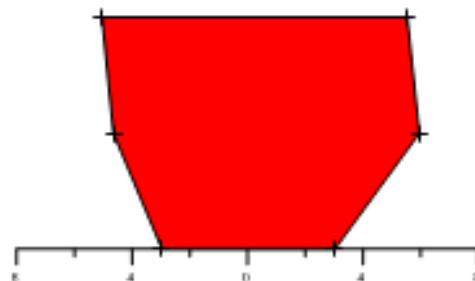


Figura 38b stiff E36

La figura 38b mostra i grafici costruiti sui valori ottenuti dai campioni E36 e E37 che hanno la base superiore nettamente più piccola della base inferiore. Se gli esagoni fossero regolari e perfettamente centrati sullo zero si potrebbero classificare come calcari, come è scritto nel libro sopra citato; purtroppo però ognuno di essi ha dei lati di misure diverse l'uno dall'altro e non sono perfettamente centrati sullo zero. Si potrebbe, quindi, affermare che tendenzialmente gli elementi provengono da calcari però hanno i campioni E36 e E37 sono stati contaminati da acqua salata che ha aumentato l'apporto di sodio e cloro, mentre i campioni che sono stati prelevati nella zona centrale del Marecchia sono entrati a contatto con riolite e dolomite che hanno aumentato gli apporti di calcio, sodio e magnesio.

#### ANALISI AZOTO

Gli elementi sopra citati sono stati analizzati per comprendere l'idrologia e la geochimica delle acque del fiume Marecchia, ma per quanto riguarda l'azoto e i suoi composti la situazione è differente; i nitrati, nitriti e ammonio sono naturalmente presenti nelle acqua ma a bassissime concentrazioni, nel caso specifico dello ione ammonio la concentrazione dovrebbe essere inferiore a 0.5 mg/l. Purtroppo non sempre è così, infatti nei dati riportati poco sopra è evidente che la presenza di queste specie in concentrazioni superiori ai limiti di legge e ciò potrebbe essere causare dei gravi danni all'ambiente.

A tale scopo si è ritenuto opportuna trattare questi parametri in un capitolo a se stante in modo da capire quale potrebbe essere l'entità dei danni e le cause che giustificano la presenza di tali specie.

Il primo software utilizzato per l'analisi dei dati è QGIS che permette di capire come sono localizzati i nitrati (figura 39a), i nitriti (figura 39b) e lo ione ammonio (figura 39c).



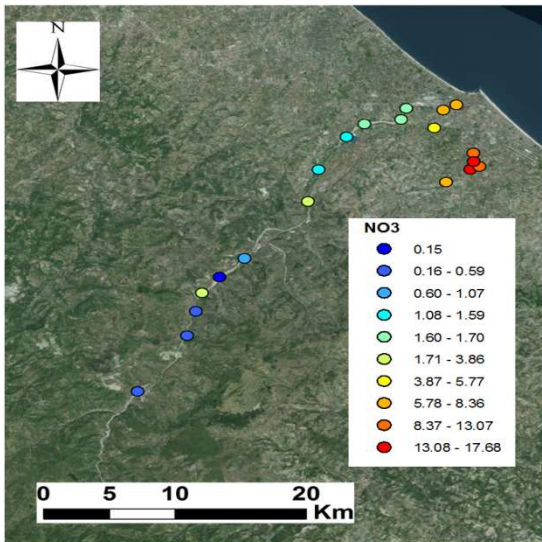


Figura 39 a bubble plot nitrati

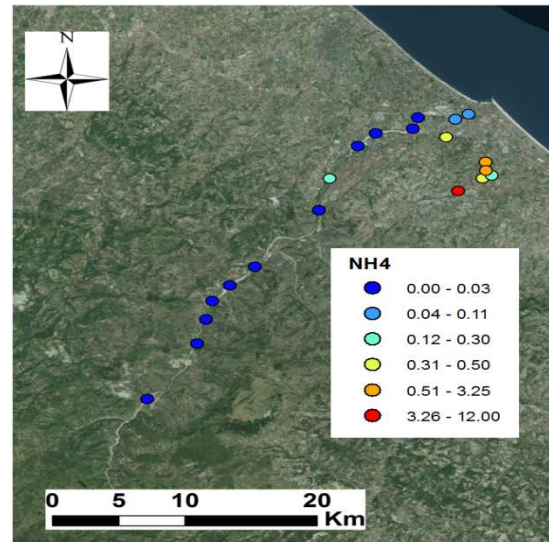


Figura 39c bubble plot ammonio

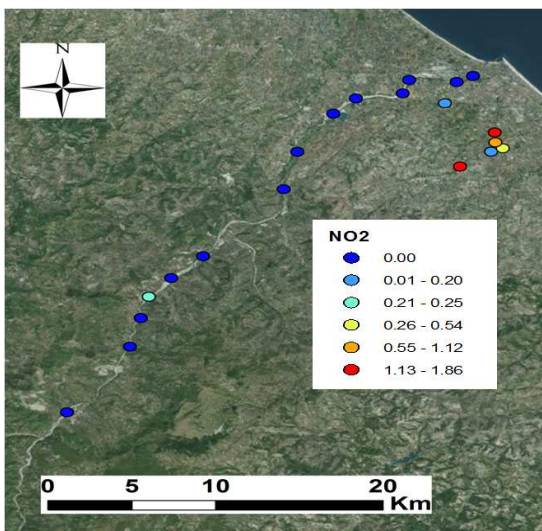


Figura39b bubble plot nitriti

Dalle figure si vede che le concentrazioni più alte di nitriti, nitrati e ammonio sono state misurate tutte nella stessa area, infatti i campioni appartengono al torrente Ausa; un'altra particolarità evidente nella figura 68 è l'andamento dei nitrati, infatti è anche facile notare che man mano che ci si allontana dalla città di Rimini e dal mare diminuisce fino quasi a scomparire completamente.

La figura 40 mostra i *binary plot* rispettivamente di nitriti / nitrati (figura 40a) e nitrati/ ammonio (figura 40b).

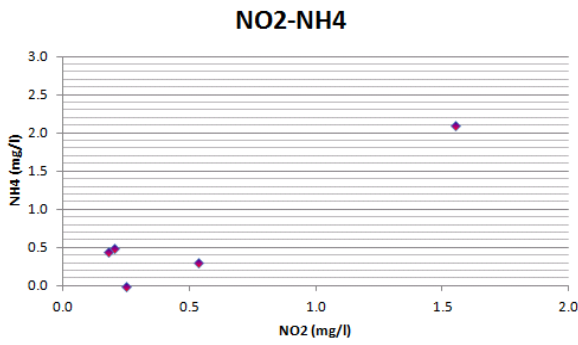


Figura 40a binary plot nitriti e ammonio

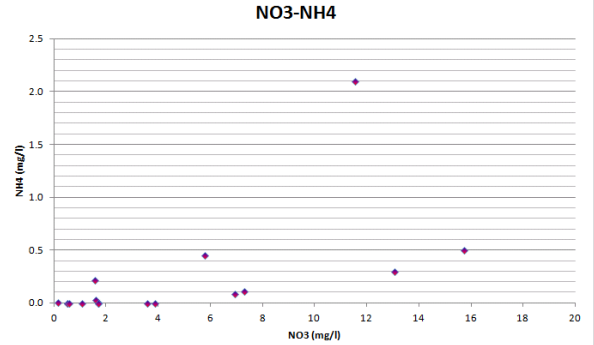


Figura 40b binary plot nitrati e ammonio

Entrambi i grafici mostrano che a concentrazioni alte di nitrati e nitriti corrispondono alte concentrazioni di ione ammonio che non dovrebbe nemmeno essere presente; una delle cause che potrebbe giustificare la sua presenza è l'ambiente riducente, quindi il fatto che in origine fosse giunto nelle acque sottoforma di nitrato e poi essersi ridotto in ammonio.

### INTERPOLAZIONE DATI

Dopo aver analizzato singolarmente i database si è deciso di interpolare i dati delle acque superficiali forniti da ARPA con i dati acquisiti sul campo per verificare se i dati acquisiti si discostano dal trend evidenziato dai dati concessi dall'ente.

Le figure 42,43,44 e 45 rappresentano l'andamento dei cloruri, dei nitrati e dei solfati nel tempo e sono stati ottenuti interpolando i dati forniti da ARPA per le acque superficiali e i dati acquisiti direttamente in campo.

### SAN LEO

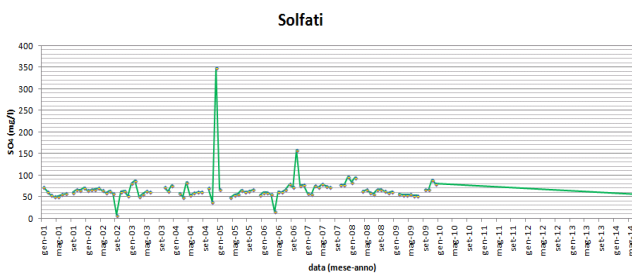


Figura 41a solfati

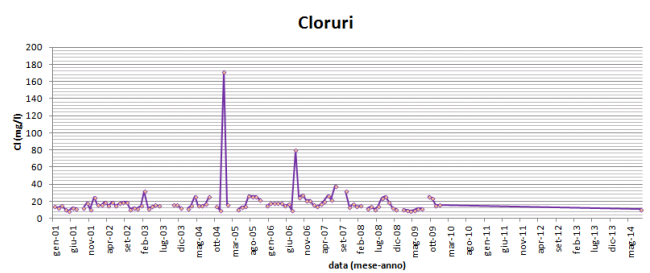


Figura 31c cloruri

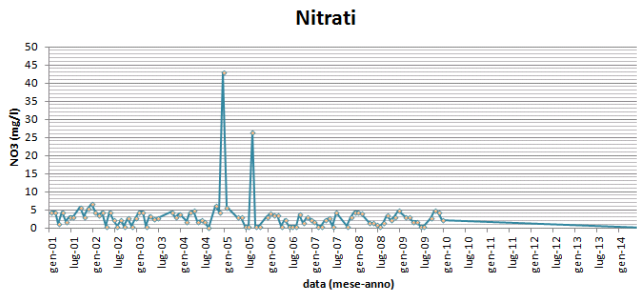


Figura41b nitrati

## PONTE VERUCCHIO

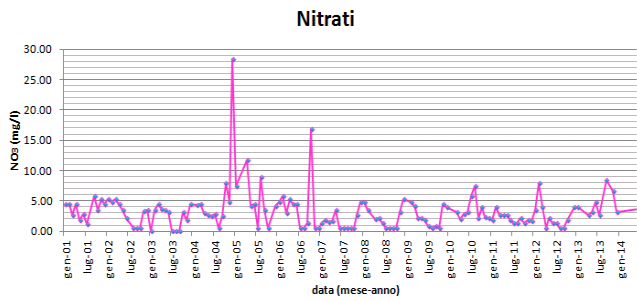


Figura 42a nitrati

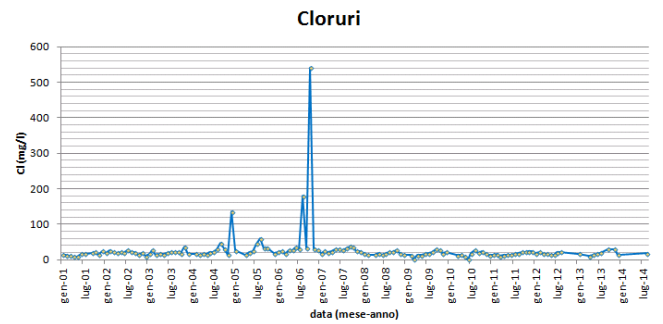


Figura42b cloruri

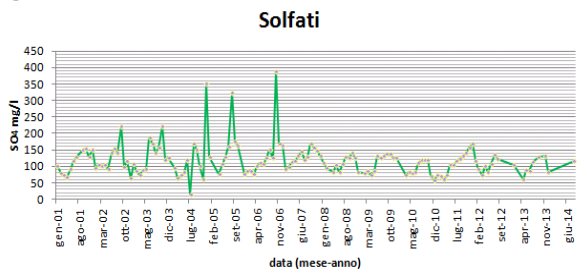


Figura 42c solfati



## VIA TRASVERSALE MARECCHIA

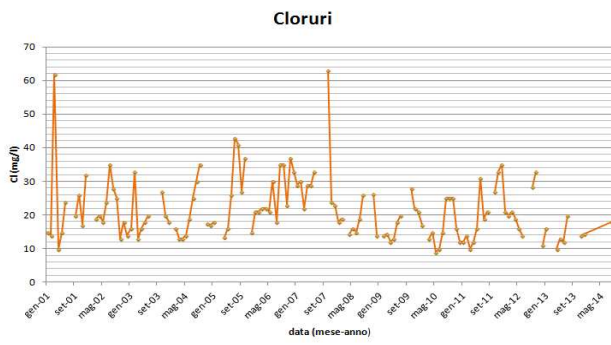


Figura 43a cloruri

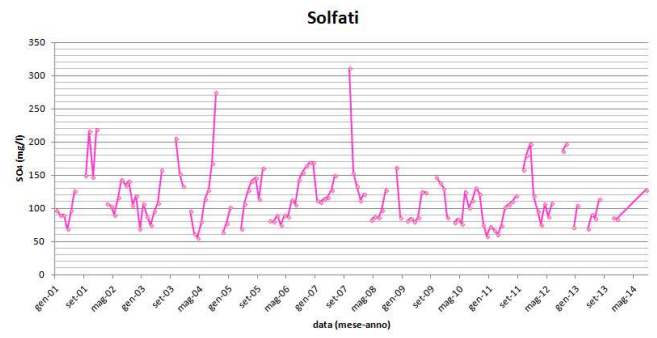


Figura 43bsolfati

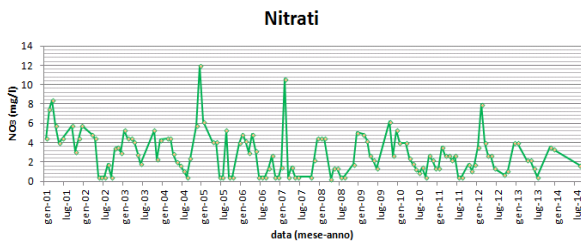


Figura 43c nitrati

## CASCATA DI VIA TONALE

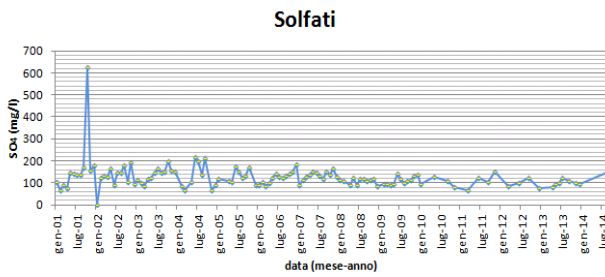


Figura 44a solfati

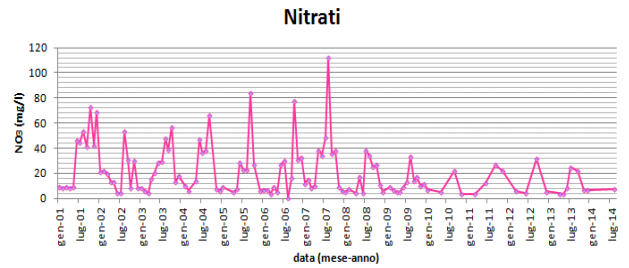


Figura 44b nitrati

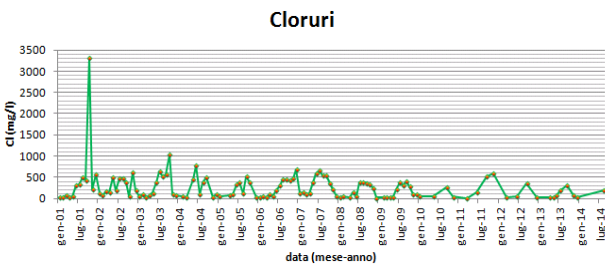


Figura 44c cloruri

Confrontando i dati dei quattro punti di campionamento ARPA e i dati acquisiti negli stessi siti è emerso che:

- a Secchiano (primo punto di campionamento ARPA e punto E45 acquisito): la concentrazione di cloro e solfati si è mantenuta nel tempo, mentre la concentrazione di nitrati sembra che sia calata molto dall'analisi dei campioni prelevati direttamente; (figura 41)
- A Ponte Verucchio (secondo punto di campionamento ARPA e punto E43 acquisito): le concentrazioni di cloro, solfati e nitrati analizzate direttamente sono coerenti con quelle rilevate da ARPA (figura 42);
- Sotto il ponte di Via Trasversale Marecchia (terzo punto di campionamento ARPA e punto E40 acquisito): in questo punto si è riscontrato che le concentrazioni di solfati, cloro e nitrati sono aumentate dal 2013 al 2014, quindi rispetto ai dati forniti da ARPA, soprattutto quelle dei solfati (figura 43)
- Cascata di via Tonale (quarto punto di campionamento ARPA e punto E36 acquisito): dal confronto dei dati emerge che le concentrazioni di nitrati segue l'andamento segnalato dai dati ARPA, mentre la concentrazione di solfati è aumentata di 1/3 (figura 44).

L'aumento di solfato nelle acque superficiali del fiume Marecchia non è sicuramente positivo e si può ipotizzare che sia causato dall' enorme diffusione di antizanzare, algicidi, insetticidi e erbicidi che sono composti principalmente da solfati, solfiti e tiosolfati.

Grazie al software ARCGIS sono stati costruiti dei grafici che riuscissero ad interpolare i valori forniti da ARPA delle acque superficiali e sotterranee con quelli acquisiti in campo evidenziando gli aspetti più salienti dei dataset. Nelle figure seguenti sono riportati le concentrazioni medie di cloruri , solfati e nitrati dei dati forniti da ARPA e le concentrazioni misurate nel 2014 attraverso analisi dirette e i simboli riportati nei grafici differiscono a seconda della serie di dati descritta, infatti i triangoli rappresentano i dati ARPA delle acque sotterranee, i cerchi i dati acquisiti direttamente e il cerchio con il bordo seghettato i dati delle acque superficiali fornite da ARPA.

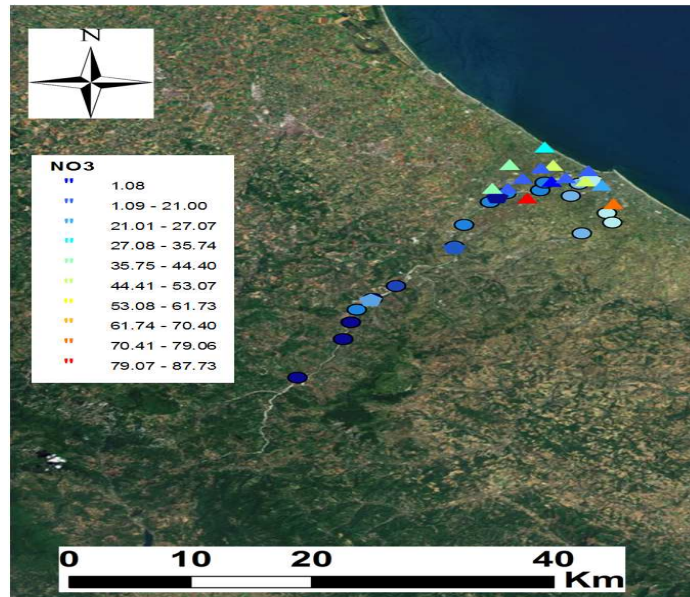


Figura 44 NO3

Nella figura 44 si nota che le concentrazioni maggiori di nitrati si trovano dalle parti del torrente Ausa e nelle zone più vicine al mare, mentre le concentrazioni più basse si riscontrano soprattutto nei punti più a monte e ciò è plausibile, in quanto è più facile che nelle zone vicine alle città l'acqua sia più contaminata a causa degli scarichi da parte di industrie e abitazioni; ma non solo, infatti è possibile notare anche un punto in aperta campagna che mostra concentrazioni molto alte di nitrati che potrebbero essere causate alle aziende agricole del luogo.

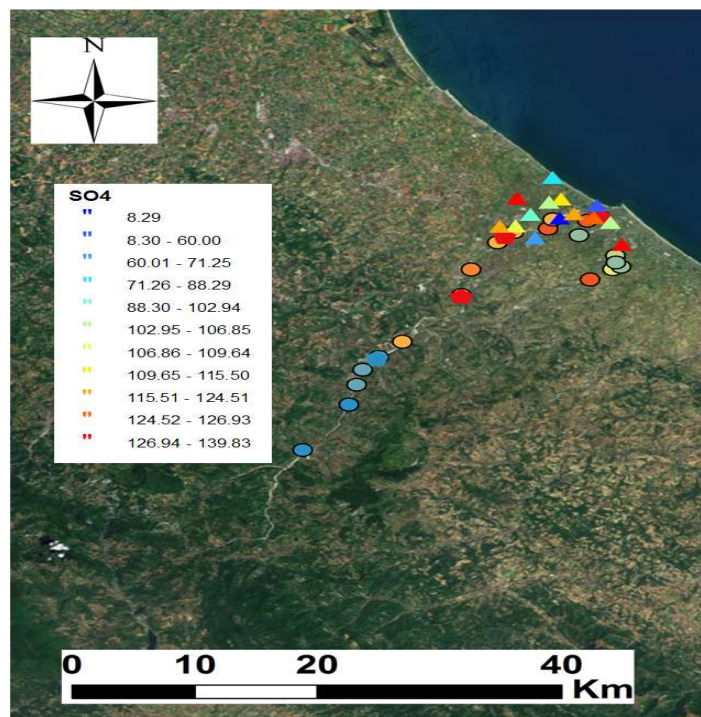


Figura 45 solfati

La figura 45, invece, mostra l'andamento dei solfati che hanno valori distribuiti in maniera del tutto casuale a seconda della serie di dati analizzati, infatti se si considerano i dati acquisiti

direttamente si nota che la loro concentrazione tende a diminuire procedendo verso monte, mentre se si osserva la serie di dati delle acque sotterranee si nota che i valori sono distribuiti in maniera caotica e potrebbero essere dovuti al tipo di roccia con cui entrano in contatto le acque.

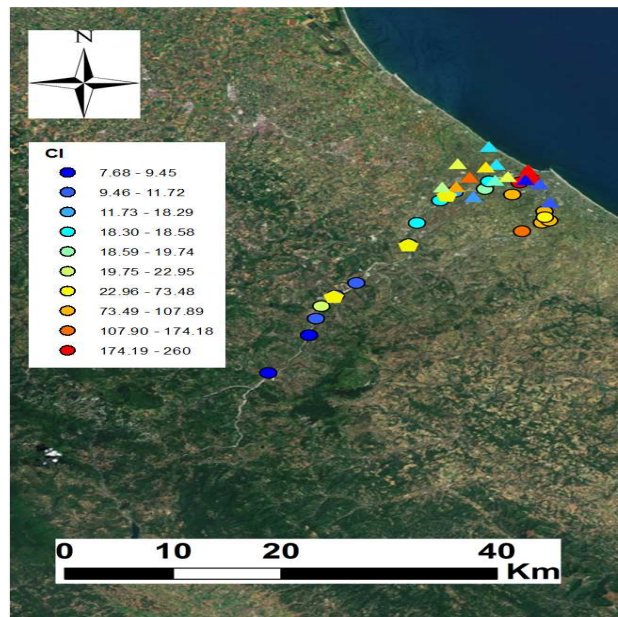


Figura 46 cloruri

La figura 46 mostra un andamento un po' anomalo perché si trovano dei valori mediamente alti anche in zone piuttosto lontane dal mare che presuppongono altre origini, oltre a quelle marine per l'immissione dei cloruri. D'altro canto, come ci si aspettava, le concentrazioni più alte si trovano nelle zone più vicine al mare, che probabilmente sono causate dall'infiltrazione dell'acqua marina in falda.



## 6. Conclusioni

È molto importante conoscere lo stato attuale delle acque del fiume Marecchia, perchè la maggior parte dell'acqua destinata ad uso domestico e agricolo proviene da lì. Come è già stato scritto nel capitolo introduttivo, per migliorare la qualità delle acque di oggi bisogna comprendere com'era la qualità delle acque nel passato, per capire se la presenza di alcuni elementi è dovuta alle differenti condizioni ambientali dei siti, oppure, se è la presenza dell'uomo a provocare dei cambiamenti del loro stato.

Per raggiungere tale obiettivo è stato fondamentale ripercorrere gli andamenti dei parametri nel corso degli anni, ricorrendo a dati forniti da ARPA e analizzando direttamente campioni raccolti in campo.

I punti di campionamento, dove sono stati effettuati i prelievi da parte di ARPA, sono quattro e ognuno di essi ha mostrato delle anomalie nel corso degli anni; nello specifico dalle analisi del primo, ubicato nei pressi di Secchiano sotto il ponte di San Leo, sono risultate delle concentrazioni di nitrati, ammoniaca e cloruri di poco inferiori rispetto ai limiti di legge e di solfati nettamente superiori ai 250 mg/l nel 2004 come il punto di campionamento situato dalla parti di Santarcangelo di Romagna che ha mostrato delle forti anomalie nei periodi 2004-2007 e 2011-2012. Il terzo punto si trova in via Trasversale Marecchia ed è situato sotto il ponte della strada provinciale 49 e mostra negli anni un andamento dei solfati sempre piuttosto alto con concentrazioni dell'ordine dei 300 mg/l e anche i cloruri, soprattutto durante i mesi estivi del periodo sopra citato hanno mostrato concentrazioni piuttosto allarmanti.

I nitrati hanno un andamento piuttosto oscillante invece, ma presentano valori rilevanti nei mesi di febbraio-marzo del 2001, nel dicembre 2004 e febbraio 2007 e anche i nitriti mostrano valori strani nel novembre 2002 e agosto 2005. Infine, il quarto punto campionato da ARPA a Rimini sotto la cascata di via Tonale presenta valori alquanto anomali che comprendono pH vicino al 6, nitrati con concentrazioni superiori ai limiti di background e ai limiti di legge dell'autunno del 2001, del 2003 e soprattutto nel periodo estivo/autunnale del 2007; anche i cloruri, come i solfati, l'ammoniaca e i nitriti hanno presentato valori altissimi nel 2001 e nel 2003.

Per quanto riguarda le acque sotterranee dopo un'attenta analisi della loro composizione, sono stati selezionati tre pozzi che hanno mostrato delle concentrazioni di nitrati notevolmente superiori al limite di legge: il pozzo RN 21-02, situato in via Valdazze, ha avuto nel 2003 e nel 2006 delle concentrazioni di nitrati vicino ai 100 mg/l; similmente il pozzo RN 63-01, situato in via Montescudo, presenta concentrazioni superiori ai limiti di legge nel 2003; allo stesso modo il pozzo RN 31-01, situato in prossimità di via Tonale, presenta concentrazioni anomale di nitrati negli anni 2003 e 2006.

Gli ultimi dati considerati, invece, risalgono all'estate 2014 e sono stati ottenuti direttamente dopo aver campionato le acque in 20 punti differenti e aver effettuato le analisi tramite cromatografo ionico e assorbimento atomico. Dall'analisi dei dati è emerso che l'andamento di tutti i parametri analizzati è decrescente da mare verso monte; infatti le concentrazioni più rilevanti sono state misurate nel fiume Ausa, nei pressi di via Tonale e dello stadio del baseball. L'unica eccezione è il solfato che presenta un andamento altalenante: mostra concentrazioni più alte nei punti più vicini al mare ed in quelli più lontani, probabilmente causate dalla differente origine della molecola.

Dopo aver analizzato le serie separatamente, si sono interpolati i dati da cui è emerso che le concentrazioni di nitrati, cloruri e solfati del punto di campionamento ARPA di via Trasversale Marecchia sono diminuite dal 2001 ad oggi, ma negli ultimi due anni sono tornate ad aumentare; da notare in particolare che questo

punto si trova molto vicino al pozzo RN 63-01 che ha mostrato concentrazioni di nitrati sempre particolarmente elevate. Il punto di campionamento ARPA delle acque superficiali di via Tonale

Il pozzo RN 31-01 ha sempre mostrato concentrazioni di nitrati molto alte e si trova in prossimità del punto di campionamento ARPA di via Tonale: quest'ultimo ha sempre evidenziato concentrazioni anomale di cloruri e nitrati, che però negli ultimi anni sono diminuite, fatta eccezione per la concentrazione dei solfati che è aumentata di 1/3.

Per quanto riguarda le anomalie di acque superficiali e sotterranee, riscontrate nel sito in corrispondenza di via Tonale, queste potrebbero essere ricondotte al grave problema dell'intrusione dell'acqua di mare in falda e degli apporti di tali elementi durante le mareggiate. Negli ultimi anni infatti, a causa della scomparsa della stagionalità, spesso si sono verificati fenomeni estremi che hanno provocato la risalita del mare lungo la costa; questa specifica zona di studio è situata molto vicina al mare e tale circostanza potrebbe aver incrementato le concentrazioni di questi elementi.

Per quanto riguarda il sito campionato nei pressi di Vergiano che mostra concentrazioni di solfati, cloruri e nitrati in aumento, non è chiaro quale possa essere la causa, forse scarichi diretti in falda o nelle acque superficiali oppure dilavamento dei campi da parte dell'acqua piovana, che può aver trasportato fertilizzanti, insetticidi e concimi in acqua durante i piovvaschi avvenuti ultimamente, dal momento che la zona considerata è situata in campagna e circondata da aziende agricole.

Un'ulteriore conclusione, che si potrebbe trarre dall'analisi dei dati, riguarda le concentrazioni di nitriti determinate nei punti di campionamento nel Torrente Ausa che superano notevolmente la concentrazione limite di 0.5 mg/l; invero la maggior parte dei siti campionati si trova in aperta campagna, quindi tali fenomeni potrebbero essere causati da un uso indiscriminato di insetticidi, diserbanti e pesticidi composti da elementi ricchi di azoto, ma non solo. Infatti negli ultimi anni sono state ricevute molte segnalazioni che riguardavano il colore del torrente e degli scarichi diretti di colorifici e industrie immessi direttamente nel torrente da parte dello stato di San Marino.

Quanto evidenziato con questo studio potrebbe essere un incentivo per gli enti regionali, provinciali e comunali per migliorare il monitoraggio di alcune zone del fiume Marecchia e per ottimizzare i sistemi di gestione del territorio, la cui realizzazione può essere più efficace con la presa di coscienza da parte dei cittadini di Rimini sull'importanza del territorio su cui risiedono, che va salvaguardato come bene prezioso per la sopravvivenza di tutti.

## 7. Bibliografia

Boarelli F., Ermeti M., Ridolfi V., La qualità di un territorio ricomposto e coeso, in "L'area protetta del Marecchia", 2012.

Severi P., Bonzi L., Ferrari V., Pellegrino I., Ricarica in condizioni controllate delle Conoide del Fiume Marecchia (Rimini), avvio della sperimentazione e primi risultati, in "Italian journal of groundwater", 2014

ARPA Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2005) Le caratteristiche degli acquiferi della Regione Emilia-Romagna. Report 2003. A cura di A. Fava, M. Farina e M. Marcaccio.

ARPA Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2005) Studio della Conoide alluvionale del Fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della corretta gestione della risorsa idrica. Rapporto tecnico.

ARPA Emilia-Romagna, Hera Rimini (2007) Applicazione della modellistica matematica di simulazione del flusso delle acque sotterranee della Conoide alluvionale del Fiume Marecchia. Rapportotecnico.

ARPA Emilia-Romagna (2008) Studio sulla ricarica artificiale delle falde in Emilia-Romagna. <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/acque/informazioni/documenti/studio-sulla-ricarica-artificiale-delle-falde-in-emilia-romagna/view>

Autorità di Bacino Marecchia-Conca (2004) Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/suolo-bacino/sezioni/pianificazione/autorita-bacino-marecchia-conca/Piano-Stralcio-Assetto-Idrogeologico-PAI>

Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP (1998) Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di Gian Marco Di Dio

Servizio Geologico d'Italia-Regione Emilia-Romagna (2005) Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio Geologico "256 – Rimini

Severi Paolo, Bonzi Luciana e Ferrari Venusia (2014) Geologia ed idrogeologia della conoide del fiume Marecchia (Rimini).

<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/acque/geologia-e-idrogeologia-della-conoide-del-fiume-marecchia>

Autorità di Bacino Interregionale Marecchia e Conca, 2002 - Uso e tutela della risorsa idrica. Studio conoscitivo finalizzato al progetto di piano di bacino.

]

Idroser S.p.A., novembre 1990. Determinazione delle caratteristiche quali-quantitative delle risorse idriche sotterranee della conoide del fiume Marecchia Rapporto Tecnico.



Consorzio di Bonifica dell'Uso del Conca e dell'Agro Riminese – Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, 1977. Studi e ricerche metodologiche per il ravvenamento artificiale del Conoide del Fiume Marecchia a scopo idropotabile e irriguo. Rimini.

Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2002) Supporto per il bilancio idrico regionale, predisposizione di una analisi di sintesi a livello regionale, sui bilanci idrici, con disaggregazione per gli areali appartenenti alle diverse Autorità di Bacino. Rapporto tecnico. Bologna.

Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna(2003) Modelli afflussi-deflussi nel reticolo idrografico naturale principale del territorio regionale.In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività D. Rapporto tecnico. Bologna.

Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2002) Progetto Operativo Monitoraggio Acque: indagine di idrologia isotopica. Rapporto tecnico finale. Bologna.

Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, (1997). Quadro conoscitivo a livello comunale delle acque sotterranee nei primi 100 metri di profondità. In Supporto per la predisposizione di criteri tecnici e procedurali ai fini di una metodologia omogenea alla istruttoria dei prelievi idrici Rapporto tecnico. Bologna.

Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003) Le acque sotterranee della Regione Emilia Romagna: modello concettuale In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività B. Rapporto tecnico. Bologna.

Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003) Creazione di una banca dati informatizzata per la parametrizzazione idrodinamica degli acquiferi.In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delleAcque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività C. Rapporto tecnico. Bologna.

Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003) Completamento del quadro conoscitivo sui carichi puntuali e diffusi e verifica ed aggiornamento del catasto degli scarichi.In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività E. Rapporto tecnico. Bologna.

Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003) Individuazione e disciplina delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano. In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività G. Rapporto tecnico. Bologna.

Regione Emilia-Romagna – ARPA (2001): Misura della rete regionale di controllo della subsidenza,

misura di linee della rete costiera non comprese nella rete regionale, rilievi batimetrici, a cura di F. Bonsignore, Bologna, ARPA - Struttura di Ingegneria Ambientale.

Regione Emilia-Romagna – ARPA (2006): Rilievo della subsidenza nella pianura emiliano-romagnola. Misura della rete costiera di controllo della subsidenza, a cura di F. Bonsignore, Bologna, ARPA - Struttura di Ingegneria Ambientale.

Ferrari C.R., I processi di eutrofizzazione e la formazione di aggregati mucillaginosi: criticità nelle conoscenze e linee di intervento, ARPA, 2006

Forlani E., Zanetti G., Studi e ricerche metodologiche per il ravvenamento artificiale della conoide del fiume Marecchia, 1977.

Businelli M., Complementi di chimica del suolo, Morlacchi, 2007.

Melis M., Additivi e tossici negli alimenti, [libreriauniversitaria.it](http://libreriauniversitaria.it), 2012

Zonta F., Masotta P., Inquinamento atmosferico e cicli ambientali, UNI Service, 2003.

Ministero dell'industria del commercio e dell'artigianato, Direzione generale delle miniere, Servizio Geologico d'Italia, Ruggeri G., Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Poligrafia e Cartevalori, Ercolano, 1970.

Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico e Sismico dei Suoli, Severi P., Bonzi L., Ferrari L., Geologia e idrogeologia della Conoide del Fiume Marecchia, Bologna, 2014

Provincia di Rimini, Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, PTCP 2007, Variante 2012, Relazione, Vitali S., presidente provincia di Rimini, 2012.

Vitousek P.M., Naylor R., Crews T., Nutrient Imbalances in Agricultural Development, in "Science", VOL 324, 2009.

[http://venus.unive.it/miche/cicli\\_ecosis/0034.htm](http://venus.unive.it/miche/cicli_ecosis/0034.htm))

(<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/parchi-natura2000/rete-natura-2000>)

<http://www.osawaterworks.com/waterquality.htm>)



## APPENDICE

### Secchiano, ponte San Leo: primo punto di campionamento ARPA

Tabella 1 Temperatura dell'acqua

°C	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	8.4	8.7	4.7		2.1	4.1	4.2	5.4	
febbraio	7.5	5.4	2.2	5.05		2.1	3.1	1.6	3
marzo	11.5	8.0	8.4	8.6		7.8	10.3		8.85
aprile	9.5	12.1	12	10.1	10.5	11.3	16.3	9.7	11.6
maggio	13.5	17.0	20.4	12.8	16.05	14.1	18.9	16.6	12.8
giugno	18.5	23.5	22.6	18.8	19.7	23	23.4	19.2	20
luglio	21.1	20.8		20.7	21.5	26.7	24.5	20.8	21.3
agosto		20.3		21.9	22.8	23.1		23.7	
settembre	12	13.7			20.5	20.5		18.9	20.2
ottobre	18.2	13.2	17.6	11.7	14.8	19.4	14.5	13.6	15.5
novembre	5.4	12.4	10.8	7.4		11.7	6.433333	13.6	12.35
dicembre	0.3	6.8	6.0	5.3	3.2	10.3	3.4	6.3	3.8

Tabella 2 Temperatura aria

°C	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	10.8	12.1	6	0	3	6	6.6	8	0
febbraio	9.3	5.2	0.8	7.75	0	4	8	6.8	0.7
marzo	18.6	13.3	12	14.4	0	12	15	0	12.7
aprile	22	18.2	15.9	13.9	19.3	19.1	25.3	15.75	22
maggio	19.5	22.6	23.6	17.2	23	22	23	22	22
giugno	22	34.1	30.1	26.1	28.8	30.3	30	24	24
luglio	28	25.2		31.3	24.5	29.5	31	29	29.7
agosto		22.2		30.3	25.6	28		30	
settembre	12.1	17.2		0	25.5	30		26	23.5
ottobre	22.3	15.5	16.7	18.5	14	24.8	17	20.4	12.2
novembre	8.5	12.5	12.8	9.9	0	14.8	8.333333	17.5	18.25
dicembre	2	8.6	9.5	7.7	3.6	15.5	2.1	6.7	2.7

Tabella 3 pH

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	7.9	8.12	8.18		8.5	8.3	7	8.3	
febbraio	8	8.09	8.24	8.13		8.3	8	8.2	8
marzo	8.1	7.95	8.02	8.31		7.9	7.5		8.05
aprile	7.9	8.17	8.11	8.16	8.2	7.8	7.8	8.35	8.1
maggio	7.8	8.03	8.28	8.45	8.3	7.9	8	8.8	8.2
giugno	8.3	8.00	8.10	8.43	8.6	8.2	8	8.3	8.5
luglio	8	8.35		7.9	8.2	8.4	8.2	8.3	8.3
agosto		7.83		8.3	8.4	7.7		8.7	
settembre	8.15	7.36			7.8	7.9		8.4	7.9

ottobre	8.29	7.96	7.86	8.38	8.2	8.1	8.6	8.5	7.8
novembre	8.2	7.84	8.41	8.2		8.1	7.766667	7.8	7.95
dicembre	7.9	8.16	8.28	8	8.5	8.3	8.3	7.5	7

Tabella 4 solidi sospesi

mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	0.5	31	85		2.5	28	2.5	9	
febbraio	39	2.5	53	6.15		2.5	2.5	2.5	2.5
marzo	0.5	29.3	13	86		65	2.5		17.5
aprile	21	14.5	2.5	168	7.5	7	2.5	11.75	6
maggio	32	2.5	2.5	1.6	3.25	2.5	9	2.5	2.5
giugno	17	2.5	6	2.5	2.5	2.5	2.5	17	2.5
luglio	0.5	2.5		0.5	2.5	7	5	2.5	7
agosto		2.5		4	55	5		2.5	
settembre	140	5			2.5	6		7	23
ottobre	3.5	43	13.5	31	6	2.5	16	2.5	7
novembre	0.5	2.5	2.5	9		2.5	4.5	59	11.25
dicembre	2.5	20	7.5	3	44	2.5	32	48	2.5

Tabella 5 conduttività

μS/cm	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	500	562	582		491	563	525	593	
febbraio	474	495	597	505		521	528	608	566
marzo	416	488	550	483		543	493		527.5
aprile	474	514	463	512	514.5	511	512	556	522
maggio	454	440	538	457	504	510	511	524	513
giugno	437	512	590	559	484	500	488	600	475
luglio	431	448		499	521	500	549	476	486
agosto		480		468	507	557		558	
settembre	460	547			508	549		612	616
ottobre	446	510	560	620	511	507	525	630	594
novembre	493	407	494	505		535	589.3333	463	540.5
dicembre	482	519	578	500	560	533	650	568	607

Tabella 6 Azoto totale

N mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006
gennaio	1	1	1		1.3	0.9
febbraio	1	0.8	1	0.85		0.8
marzo	0.025	1	0.25	0.97		0.79
aprile	1	0.25	0.75	1.1	0.685	0.25
maggio	0.4	1	0.6	0.4	0.65	0.52
giugno	0.5	0.5	0.6	0.5	0.25	0.25
luglio	0.5	0.25		0.36	0.25	0.25
agosto		0.5		0.01	6	0.25
settembre	1.5	0.25			0.25	0.84

ottobre	0.9	0.61	1	1.4	0.25	0.3
novembre	1.4	0.25	0.65	1		0.65
dicembre	1.5	0.6	0.88	9.7	0.7	0.52

Tabella 7 Azoto ammoniacale

N mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	0.025	0.025	0.01		0.01	0.01	0.01	0.05	
febbraio	0.025	0.025	0.01	0.01		0.01	0.01	0.11	0.05
marzo	0.025	0.025	0.01	0.01		0.01	0.01		0.09
aprile	0.025	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.035	0.04
maggio	0.025	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.09
giugno	0.025	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12	0.01
luglio	0.025	0.01		0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
agosto		0.01		0.01	0.01	0.01		0.06	
settembre	0.025	0.01			0.01	0.01		0.16	0.01
ottobre	0.025	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01
novembre	0.025	0.01	0.01	0.01		0.01	0.053333	0.02	0.01
dicembre	0.025	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.19	0.06	0.01

Tabella 8 Azoto nitrico

N mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	1	1	1		1.3	0.9	0.41	1	
febbraio	1	0.8	1	0.4	0	0.8	0.1	0.9	0.7
marzo	0.25	1	0.1	0.97	0	0.79	0.1		0.65
aprile	1	0.1	0.75	1.1	0.685	0.1	0.5	0.35	0.4
maggio	0.4	1	0.56	0.4	0.67	0.52	0.6	0.3	0.4
giugno	0.7	0.5	0.6	0.5	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
luglio	0.7	0.1		0.36	0.1	0.1	0.96	0.1	0.1
agosto		0.5		0.01	6	0.1		0.3	
settembre	1.3	0.1			0.1	0.84		0.8	0.6
ottobre	0.7	0.61	1	1.4	0.1	0.3	0.1	0.5	1.1
novembre	1.2	0.1	0.65	1		0.65	0.666667	0.7	0.95
dicembre	1.5	0.6	0.88	9.7	0.7	0.52	1	1.1	0.5

Tabella 9 Azoto nitroso

N mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	0.01	0.01	0.005		0.005	0.005	0.005	0.005	
febbraio	0.01	0.01	0.005	0.05		0.005	0.005	0.005	0.005
marzo	0.01	0.01	0.005	0.05		0.005	0.005		0.005
aprile	0.01	0.005	0.005	0.05	0.005	0.005	0.005	0.0075	0.005
maggio	0.01	0.005	0.005	0.05	0.005	0.005	0.005	0.02	0.005
giugno	0.01	0.005	0.005	0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
luglio	0.01	0.005		0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
agosto		0.005		0.05	0.005	0.005		0.02	
settembre	0.01	0.005			0.005	0.005		0.08	0.005

ottobre	0.01	0.005	0.005	0.05	0.005	0.005	0.005	0.03	0.005
novembre	0.01	0.005	0.005	0.05		0.005	0.005	0.005	0.005
dicembre	0.01	0.005	0.005	0.05	0.005	0.005	0.01	0.005	0.005

Tabella 10 Ossigeno disciolto

mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	11.3	11.2	12.8		10.7	12.6	14	14.1	
febbraio	10.1	11.3	14.3	12		15.1	16.3	14.4	13
marzo	10	10.4	10.6	11.2		11.3	12		11.1
aprile	9.9	10.8	11.2	9.2	10.3	11	8.4	11	9.5
maggio	9.2	9.3	9.5	8.7	9	10.2	8.6	9.7	9.3
giugno	8.7	7.9	8.9	8.2	9.6	8.2	9.3	8.3	7.9
luglio	10.6	9.4		5.4	8.3	6.9	11	10.3	7.7
agosto		8.3		7.4	7.6	3.4		10.5	
settembre	10.2	9.8			4.6	4.3		9.3	7
ottobre	9	10.8	9	9	8.2	10.5	12.8	10.4	8.6
novembre	12.7	11.4	10.4	8.5		11.8	12.85	9.7	10.4
dicembre	11.9	12.3	11.4	9.1	13.5	11	16	11.2	13.2

Tabella 11 BOD<sub>5</sub>

O2 mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	1	1	1		1	2	1	1	
febbraio	0.5	1	1	1.5		1	1	6	4
marzo	0.5	1	2	1		1	1		1
aprile	1	1	1	2	1.5	2	1	2	2
maggio	0.5	1	1	1	1	1	2	3	1
giugno	0.5	1	1	1	2	1	1	6	2
luglio	1	1		1	1	1	3	1	1
agosto		1		1	2	1		3	
settembre	0.5	10			1	1		3	1
ottobre	0.5	1	1	1	1	2	1	1	1
novembre	0.5	1	1	1		1	3.666667	1	1
dicembre	1	1	1	1	3	1	6	1	1

Tabella 12 COD

O2 mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	23	5	17		13	2	14	2	
febbraio	8	5	2	3.5		2	2	7	4
marzo	20	8	7	2		16	14		4.5
aprile	2.5	4	18	18	8	17	16	5.5	4
maggio	19	4	18	2	3.5	17	7	4	6
giugno	30	4	15	45	17	18	20	6	2
luglio	25	26		14	5	2	8	5	2
agosto		15		10	5	16		2	
settembre	2.5	42			14	16		5	2

ottobre	2.5	6	2	17	2	15	19	2	5
novembre	2.5	17	2	2		15	5.333333	4	4.5
dicembre	8	2	16	20	18	16	8	5	7

Tabella 13 Ortofosfato

P mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	0.05	0.05	0.005		0.005	0.005	0.005	0.005	
febbraio	0.05	0.05	0.35	0.005		0.005	0.005	0.005	0.005
marzo	0.05	0.05	0.005	0.005		0.005	0.005		0.005
aprile	0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.05	0.005
maggio	0.05	0.005	0.005	0.48	0.005	0.1	0.005	0.05	0.005
giugno	0.05	0.005	0.37	0.005	0.005	0.005	0.005	0.05	0.005
luglio	0.05	0.005		0.005	0.005	0.005	0.005	0.05	0.005
agosto		0.005		0.005	0.45	0.005		0.02	
settembre	0.05	0.005			0.005	0.005		0.005	0.005
ottobre	0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
novembre	0.05	0.005	0.1	0.005		0.005	0.016667	0.005	0.005
dicembre	0.05	0.005	0.26	0.005	0.005	0.005	0.02	0.005	0.05

Tabella 14 fosforo totale

P mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	0.05	0.05	0.005		0.005	0.005	0.005	0.1	
febbraio	0.05	0.05	0.48	0.005		0.005	0.005	0.02	0.04
marzo	0.05	0.05	0.005	0.005		0.005	0.005		0.0125
aprile	0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.0525	0.03
maggio	0.05	0.005	0.005	0.53	0.005	0.14	0.005	0.01	0.005
giugno	0.05	0.005	0.45	0.005	0.005	0.005	0.005	0.03	0.005
luglio	1.9	0.005		0.005	0.005	0.005	0.005	0.02	0.005
agosto		0.005		0.005	0.5	0.005		0.06	
settembre	0.05	0.005			0.005	0.005		0.02	0.05
ottobre	0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.03	0.05
novembre	0.05	0.005	0.15	0.005		0.005	0.026667	0.07	0.05
dicembre	0.05	0.005	0.37	0.005	0.005	0.005	0.07	0.02	0.06

Tabella 15 Cloruri

Cl mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	14	16	15		16	18	16	14	
febbraio	13	16	32	12		18	14	15	11
marzo	15	19	12	15		18	17		10
aprile	11	15	14	26	10.5	18	20	12	9
maggio	9	19	16	15	13.5	15	27	14	10
giugno	13	15	15	15	14	17	22	11	12
luglio	12	18		17	27	10	38	14	12
agosto		19		26	26	80		24	
settembre	13	19			26	25		26	26





novembre	0.03	0.012	0.012	0.012		0.012	0.064	0.024	0.012
dicembre	0.03	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.228	0.072	0.012

Tabella 19 Nitrati

NO <sub>3</sub> mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	4.42	4.42	4.42		5.746	3.978	1.8122	4.42	
febbraio	4.42	3.536	4.42	1.768		3.536	0.442	3.978	3.094
marzo	1.105	4.42	0.442	4.2874		3.4918	0.442		2.873
aprile	4.42	0.442	3.315	4.862	3.0277	0.442	2.21	1.547	1.768
maggio	1.768	4.42	2.4752	1.768	2.9614	2.2984	2.652	1.326	1.768
giugno	3.094	2.21	2.652	2.21	0.442	0.442	0.442	0.884	0.442
luglio	3.094	0.442		1.5912	0.442	0.442	4.2432	0.442	0.442
agosto		2.21		0.0442	26.52	0.442		1.326	
settembre	5.746	0.442			0.442	3.7128		3.536	2.652
ottobre	3.094	2.6962	4.42	6.188	0.442	1.326	0.442	2.21	4.862
novembre	5.304	0.442	2.873	4.42		2.873	2.946667	3.094	4.199
dicembre	6.63	2.652	3.8896	42.874	3.094	2.2984	4.42	4.862	2.21

Tabella 20 Nitriti

NO <sub>2</sub> mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	0.0313	0.0313	0.01565		0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	
febbraio	0.0313	0.0313	0.01565	0.1565		0.01565	0.01565	0.01565	0.01565
marzo	0.0313	0.0313	0.01565	0.1565		0.01565	0.01565		0.01565
aprile	0.0313	0.01565	0.01565	0.1565	0.01565	0.01565	0.01565	0.023475	0.01565
maggio	0.0313	0.01565	0.01565	0.1565	0.01565	0.01565	0.01565	0.0626	0.01565
giugno	0.0313	0.01565	0.01565	0.1565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565
luglio	0.0313	0.01565		0.1565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565
agosto		0.01565		0.1565	0.01565	0.01565		0.0626	
settembre	0.0313	0.01565			0.01565	0.01565		0.2504	0.01565
ottobre	0.0313	0.01565	0.01565	0.1565	0.01565	0.01565	0.01565	0.0939	0.01565
novembre	0.0313	0.01565	0.01565	0.1565		0.01565	0.01565	0.01565	0.01565
dicembre	0.0313	0.01565	0.01565	0.1565	0.01565	0.01565	0.0313	0.01565	0.01565

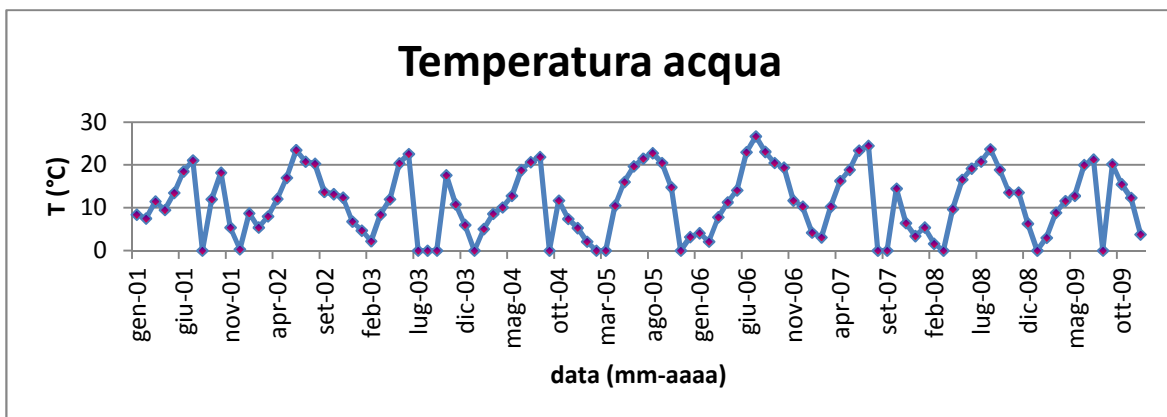


Figura 1 Temperatura acqua

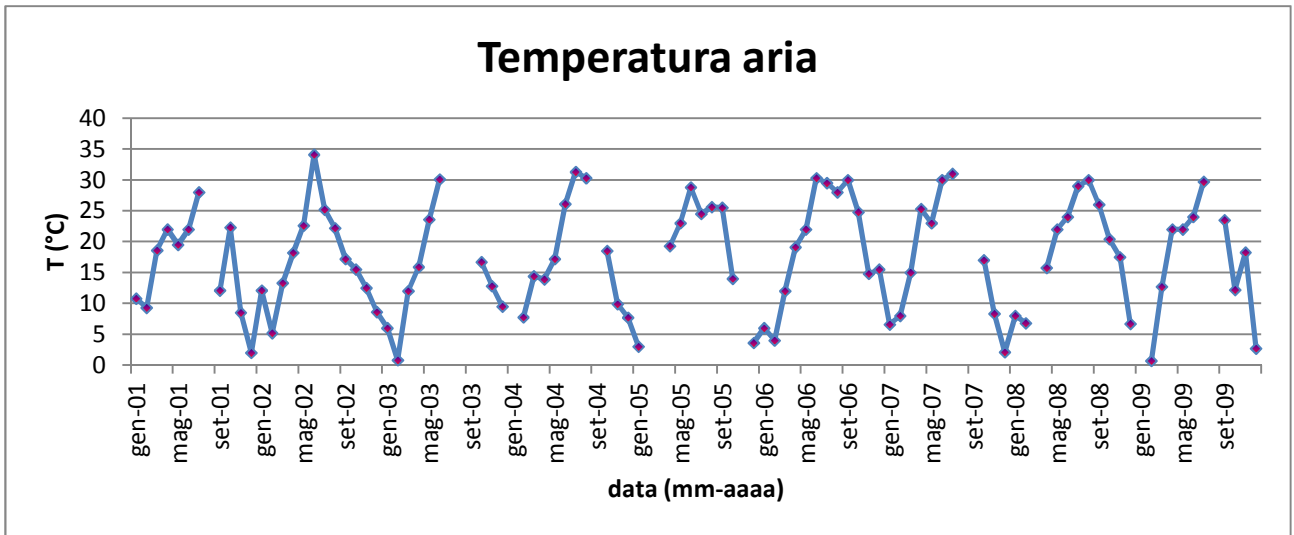


Figura 2 Temperatura aria

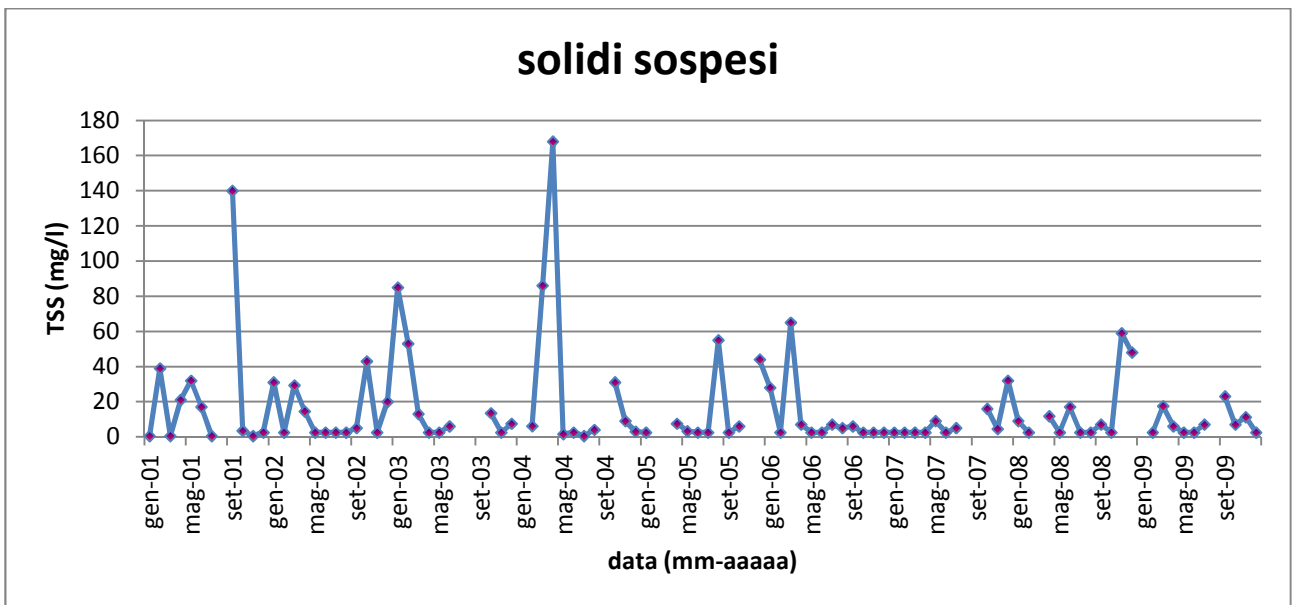


Figura 3 Solidi sospesi

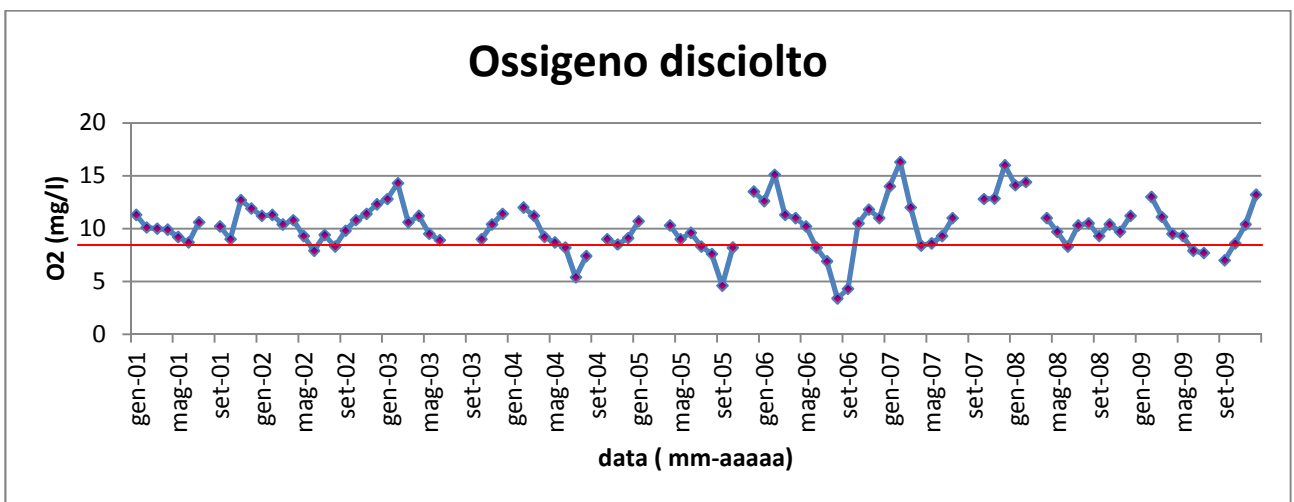


Figura 4 Ossigeno disciolto

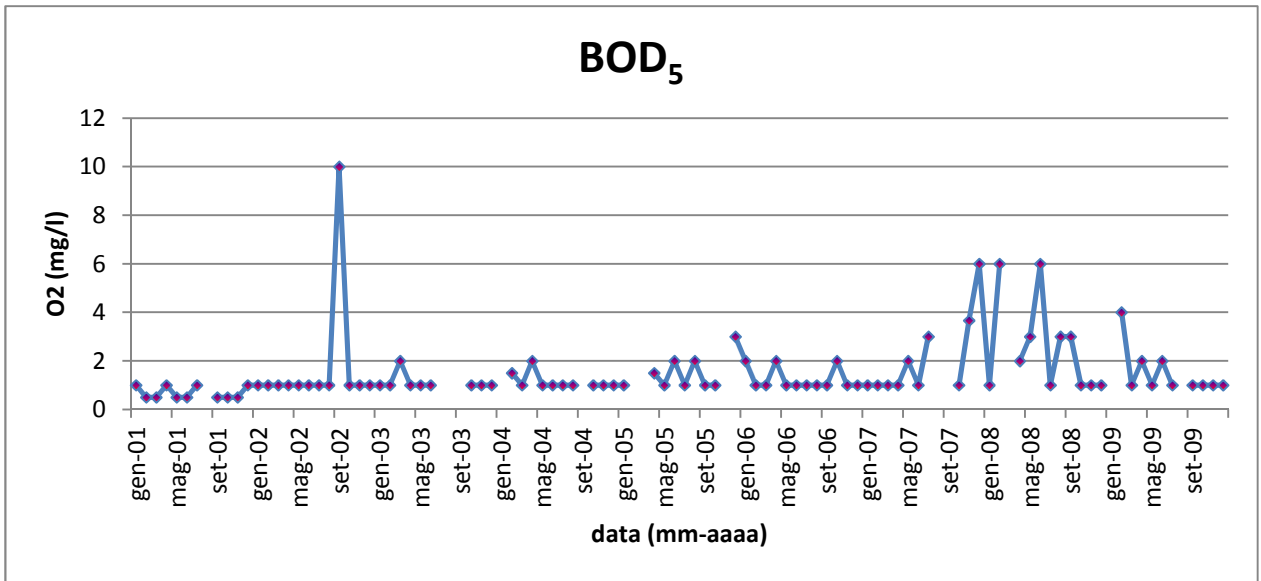


Figura 5 BOD<sub>5</sub>

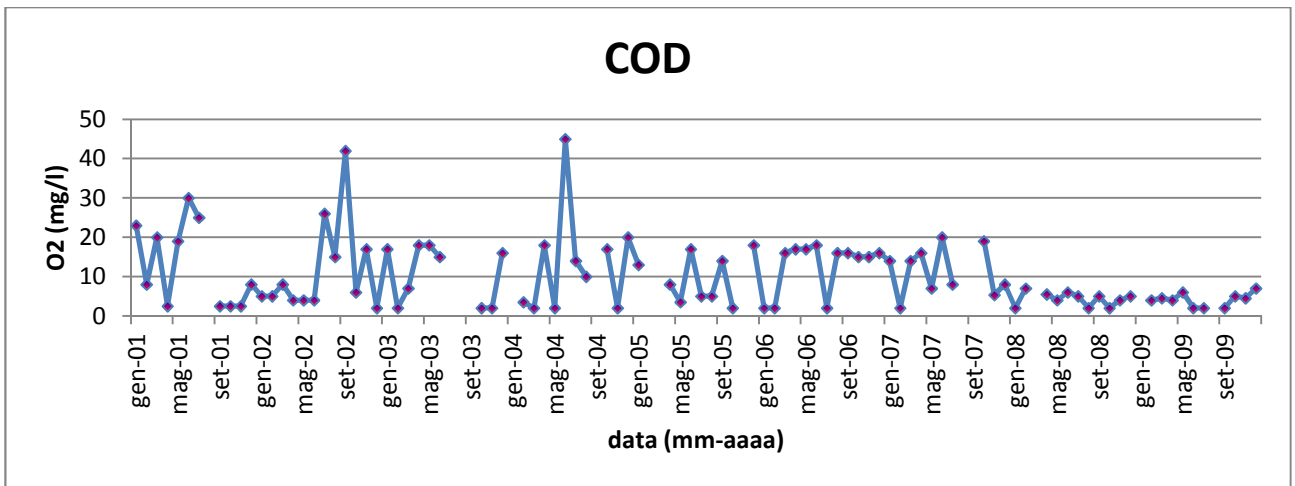


Figura 6 COD

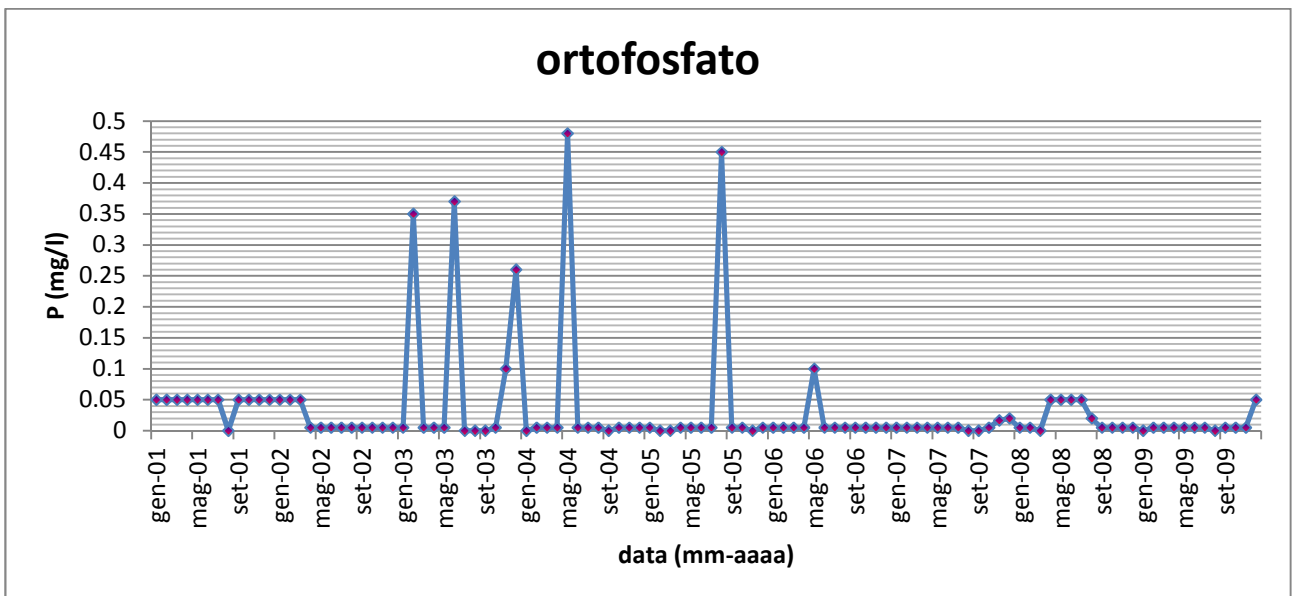


Figura 7 ortofosfato

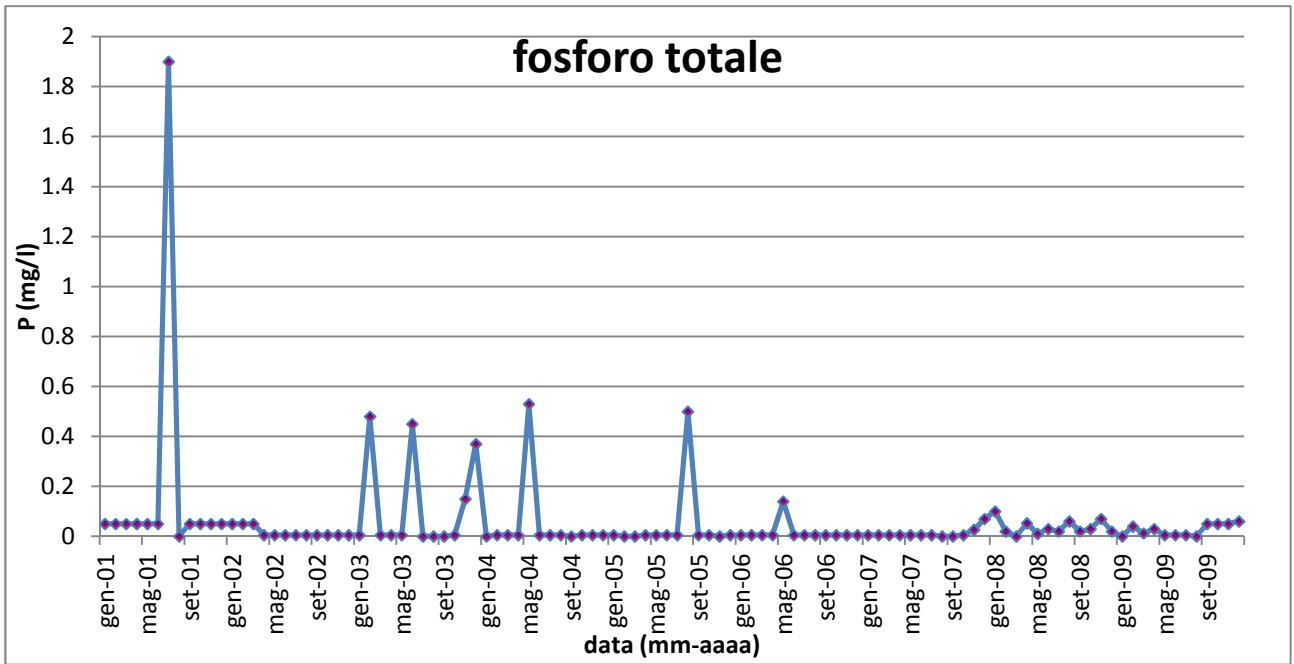


Figura 8 fosforo totale

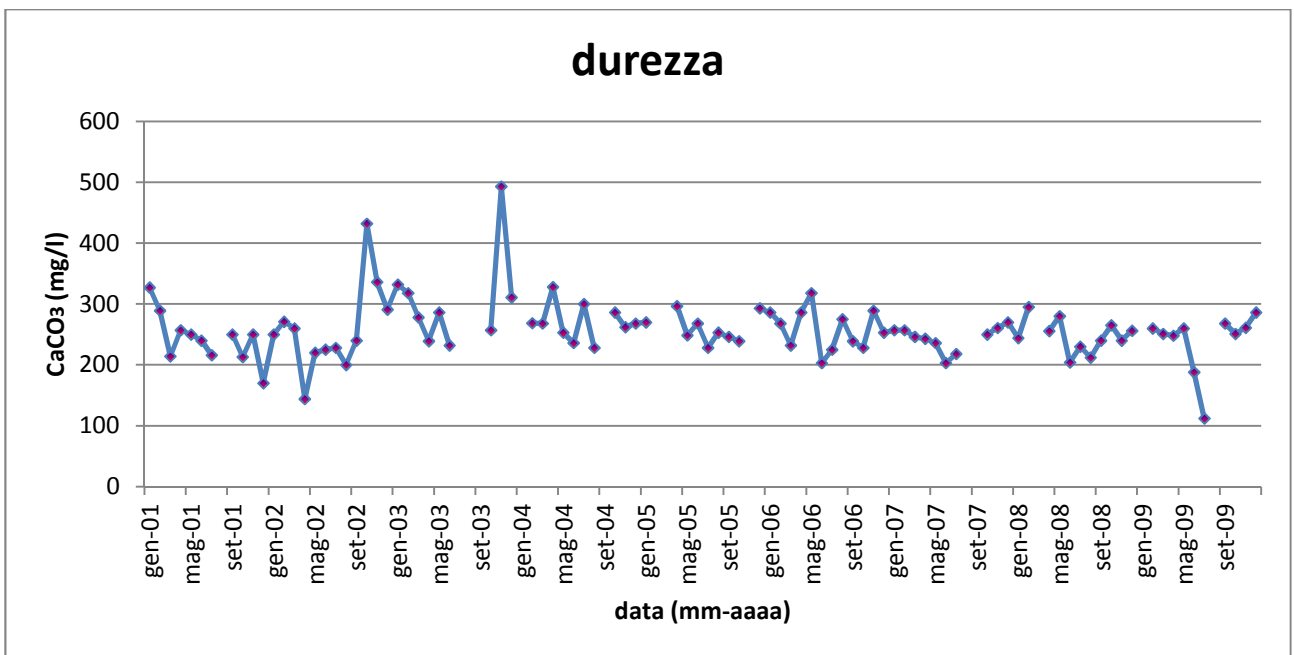


Figura 9 durezza

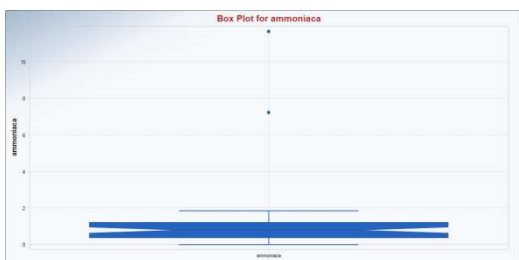


Figura 10 box plot ammoniaca

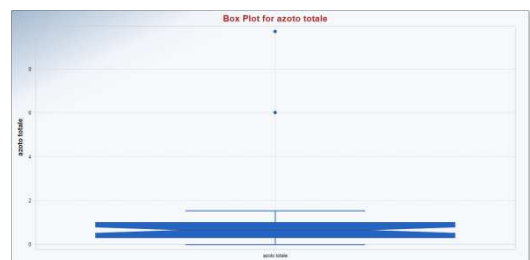


Figura 11 box plot azoto totale

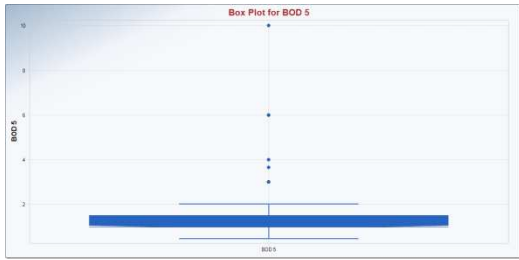


Figura 12 box plot BOD5

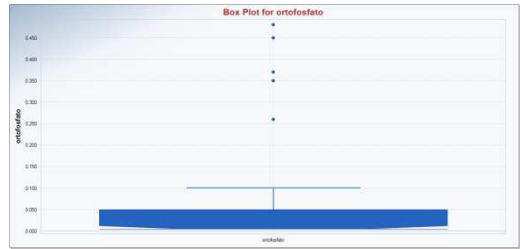


Figura 17 box plot ortofosfato

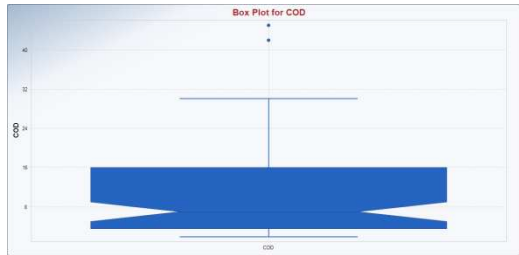


Figura 13 box plot COD

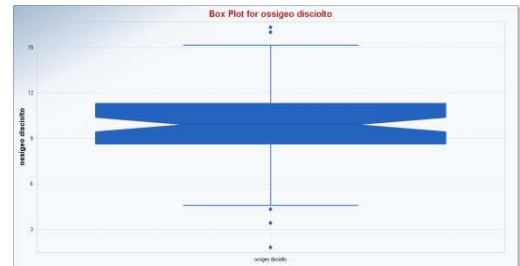


Figura 18 box plot ossigeno disciolto

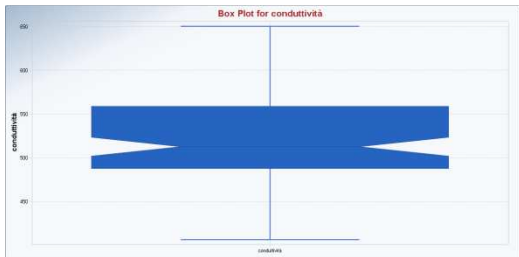


Figura 14 box plot conduttività

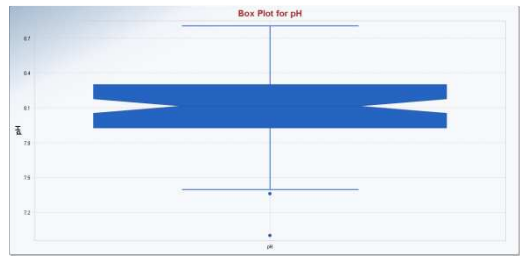


Figura 19 box plot pH



Figura 15 box plot durezza

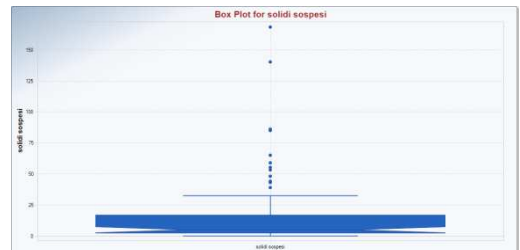


Figura 20 box plot solidi sospesi

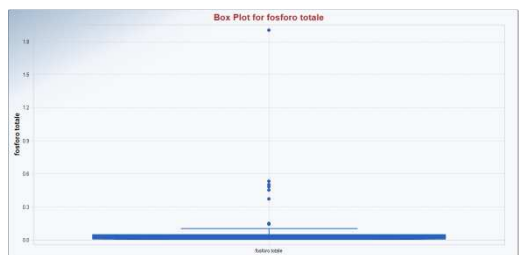


Figura 16 box plot fosforo totale

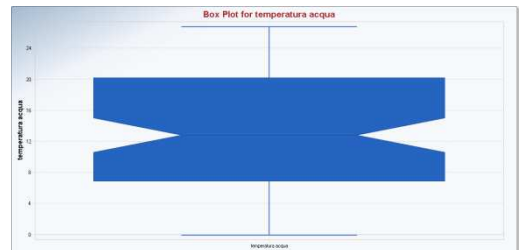


Figura 21 box plot temperatura acqua

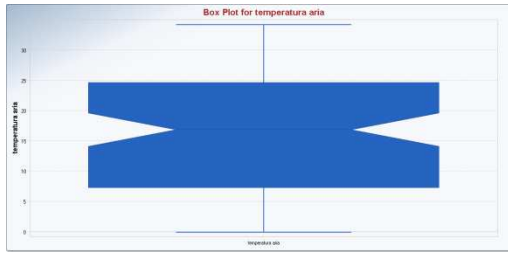


Figura 22 box plot temperatura aria

Ponte Verucchio: secondo punto di campionamento ARPA

Tabella 21 Temperatura acqua

°C	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	6.8	8.6		2.2	3.5	6	6	5.6			2.5	4.3	7
febbraio	7.5	6.2	6.85		2.4	4.6	4.6	2.7	3.2		4.8	7.3	
marzo	11.6	8.4	8.6		7.5	8.8	8.8		8.75	9.5	6.5	7.2	
aprile	11	12.5	10.1	11.95	10.4	16.4	16.4	9.9	11	10.8	12.4	8.8	7.5
maggio	14.5	18.3	12.1	17.8	13	17.9	17.9	16.6	12.6	14.2	15.8	13.1	14.7
giugno	21.3	26.0	18.7	18.8	22.7	21.6	21.6	19.3	19.3	15.8	21.0	17.9	18.1
luglio	25.8	23.1	20.2	21.3	22.1	20	20	21.6	21.3	23.4	24.0	24.7	23.9
agosto		22.2	21.8	20.6	21.8	23.2	23.2	22.3	21	21.7	22.3	26	
settembre	15	15.5	18.1	17.8	18.7	18.5	18.5	19	18.4	19.6	21.0		19.8
ottobre	18	14	12.2	15.9	18.6	14.6	14.6	15.3	17.1	15.0	14.3		
novembre	7.6	13	7.9		12.5	6.5	6.5	14.3	11.5	9.7	14.5		16
dicembre	3.8	7.4	5.2	2.7	10.8	4.4	4.4	6.9	4.5	10.4	12.0		6.5

Tabella 22 Temperatura aria

°C	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	6.7	8.2	6.7		-1.2	4.2	3.6	3.5			0.8	10.7	6.8
febbraio	9	4.1	2.5	7.1		2	4.5	4	3.4		4.7	14.7	
marzo	19.4	14	14.4	12.5		9.3	14.7		12.5	17.2	10.3	15.6	
aprile	22	18.9	15	15.2	18.05	15.1	25	15	20	15.85	13.7	11.4	15.5
maggio	20.5	25	24.1	19	21.25	19.8	23.9	19.5	19	25.3	17.5	14.2	22.0
giugno	22	33.9	32.6	26.6	25.3	30.1	27.8	25.2	28	23.9	27.5	21	23.4
luglio	29	26.9	24.3	28.3	23	26.7	28	27.5	27.7	30.8	33.5	31.1	27.1
agosto		21.4	29.7	26	25.6	26.9	25.6	28	29	24.5	30.7	31.7	
settembre	18.5	24	21.0	26.8	20.6	21.3	24.2	26	20.4	19.8	25.0		22.6
ottobre	24.8	16.2	17.1	16.5	14.8	22.8	15	23.4	21.7	14.3	13.7		
novembre	10	12.9	14.3	9.4		12.8	5.4	19	13.7	11.4	14.7		19.0
dicembre	4	7.7	12.1	7.2	4	14.7	6.3	8.3	3.2	10.5	16.8		7.6

Tabella 23 pH

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	8	8.12	8.17		8.5	8.2	7.3	8.1			8.5	8.1	8.1
febbraio	7.9	8.14	8.30	8.095		8	8.1	8.1	7.8		8.3	8.1	
marzo	8.1	8	7.92	8.16		7.7	7.6	7.6	7.9	7.7	8.3	8.2	
aprile	7.9	7.96	7.96	8.11	7.6	7.5	7.7	7.95	8.1	7.7	8.0	7.5	8.2
maggio	7.8	8.05	8.20	8.42	7.65	7.6	7.9	8.3	8	6.8	8.0	7.6	8.1
giugno	8.2	7.97	7.87	8.1	7.6	8	7.8	8.2	8.1	8.3	8.2	7.6	7.9
luglio	8	8.00	7.89	8	7.8	8.2	8.1	8.3	8.1	8.4	7.5	7.6	8.1
agosto		7.91	7.75	8	8.1	7.6	7.7	8.1	7.7	7.3	7.6	7.7	
settembre	8.07	7.92	7.53	7.9	7.5	7.9	8.2	7.9	7.9	7.2	7.9		8.1
ottobre	7.97	7.91	7.94	8.2	8	7.9	8.1	8	7.7	7.5	8.0		
novembre	8.14	8.15	8.14	8.2		8.2	7.5	7.5	7.9	8.3	7.5		7.6
dicembre	7.7	8.17	8.12	8	8.7	8.3	8.2	7.5	7.2	8.4	7.7		8

Tabella 24 Solidi sospesi

mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	0.5	86	124.5		1	44	2.5	2.5			15	18	2.5
febbraio	30	2.5	59	21.75		2.5	2.5	6			151	167	
marzo	95	2.5	15	172		87	2.5		13	24	61	69	
aprile	193	20	2.5	100.5	15.5	6	2.5	8.75	22	5	27	26.4	82
maggio	76	23	8	3.5	2.25	7	10	2.5	2.5	9	23	204	32
giugno	7.7	2.5	13.5	2.5	5	7	2.5	8	10	5	13	14	28
luglio	3.3		2.5	6.5	5	2	4	2.5	2.5	2.5	15	5	2.5
agosto		2.5	6	6.5	52	2.5	8	2.5	7	20	282	21	
settembre	192	19	2.5	12.5	7	13	2.5	2.5	10	17	17	14	25
ottobre	7.2	2.5	2.5	93	8	10	6	7	2.5	17	10	2.5	
novembre	7	80.5	3	6		5	2.5	61	25	54	3		2.5
dicembre	12	6	10.5	21	84	2.5	55	21	17	235	3	79	5



**Tabella 25 conduttività**

μS/cm	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	585	555	643		600	632	635	634			600	610	630
febbraio	546	564	611	512		611	612	635	625		660	656	
marzo	440	550	553	509		591	564		601.5	563	578	606	
aprile	511	540	540	515	566	587	591	595	573	546	603	777	580
maggio	500	498	570	542	631.5	568	616	605	575	650	635	661	650
giugno	554	595	622	751	665	609	665	655	684	545	511	679	580
luglio	617	614	785	906	707	668	695	620	671	577	677	666	620
agosto		612	821	905	767	712	738	704	761	680	726	700	
settembre	620	646	770	830	746	731	777	736	812	1079	830		860
ottobre	597	568	778	670	750	707	770	824	820	652	633		
novembre	611	562	669	590		746	721	606	659	566	634		710
dicembre	654	524	593	555	627	725	737	605	732	495	650		540

**Tabella 26 Durezza**

CaCO3 mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	310	282	336		298	293	289	290			282	280	291
febbraio	293	266	311	291		293	293	288	276		257	277	
marzo	207	293	296	282		290	282		270	295	265	367	
aprile	307	152	268	332	277	303	268	250	280	296	272	302	260
maggio	261	232	311	278	302	286	293	264	300	255	324	268	256
giugno	290	285	339	309	336	232	280	300	260	269	274	267	260
luglio	310	300	368	334	318	278	332	285	292	293	287	287	268
agosto		303	340	346	336	346	350	284	304	292	282	302	
settembre	325	310	403	386	336	318	332	288	351	360	334		308
ottobre	305	303	403	318	325	311	346	340	346	279	338		
novembre	325	328	346	287		353	312	304	310	276	320		333
dicembre	464	291	340	282	289	339	400	255	313	265	351		280

**Tabella 27 Azoto totale**

N mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	1	1.2	1.16		1.7	1.1					5.0	1.91	1.21
febbraio	1	1.1	0.8	0.965		1.3					7.4	5.64	
marzo	0.6	1.2	1	1.08		0.68				1.8	5.2	1.83	
aprile	1	1	0.81	0.68	2.65	1.2				3.14	14.2	5.57	0.5
maggio	0.4	0.8	0.77	0.6	0.875	1				2.63	3.0	1.6	1.22
giugno	0.5	0.5	0.72	0.56	1	1				1.62	1.8	0.5	1.6
luglio	0.5		0.25	0.63	0.25	0.25				2.6	1.5	0.5	0.5
agosto		0.25	0.25	0.01	2	0.25				2.86	2.9	0.5	
settembre	1.5	0.25	0.25	0.56	0.78	0.29				2.65	5.0	0.5	2
ottobre	1	0.25	0.7	1.8	0.25	3.8				2.22	2.4	6.21	
novembre	1.2	0.74	0.43	1.13		0.25				2.1	2.3		1.61
dicembre	1	1.1	1	6.4	0.93	0.25				3.7	1.0	2.73	0.5

**Tabella 28 Ammoniacale**

NH3 mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	0.03	0.03	0.012		0.012	0.012	0.012	0.024			0.012	0.012	0.012
febbraio	0.03	0.03	0.012	0.012		0.012	0.012	0.024	0.072		0.012	0.012	
marzo	0.03	0.03	0.012	0.012		0.012	0.012		0.024	0.012	0.012	0.168	
aprile	0.03	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.018	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
maggio	0.03	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.024	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
giugno	0.03	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.024	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
luglio	0.03		0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.024	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
agosto		0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	
settembre	0.03	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.024	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
ottobre	0.03	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	
novembre	0.03	0.012	0.012	0.012		0.012	0.024	0.048	0.012	0.012	0.012		0.012
dicembre	0.03	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.024	0.06	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012

**Tabella 29 Nitrati**

NO <sub>3</sub> mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	4.42	5.304	0.0442		7.514	4.862	1.326	4.862			1.768	3.536	3.978
febbraio	4.42	4.862	3.536	4.2653		5.746	1.768	3.536	4.862		3.978	7.956	
marzo	2.652	5.304	4.42	4.42		3.0056	1.5028		4.199	3.094	2.652	3.978	
aprile	4.42	4.42	3.5802	3.0056	11.713	5.304	1.6796	1.989	2.21	1.989	2.652	0.442	2.652
maggio	1.768	3.536	3.4034	2.652	3.8675	4.42	3.4034	2.21	2.21	2.7846	2.652	2.21	3.094
giugno	2.873	2.21	3.1824	2.4752	4.42	4.42	0.442	1.326	1.768	3.1824	1.768	1.326	4.862
luglio	1.105		0.0442	2.7846	0.442	0.442	0.442	0.442	0.884	5.7902	1.2818	1.326	2.652
agosto		0.442	0.0442	0.442	8.84	0.442	0.442	0.442	0.442	7.514	1.326	0.442	
settembre	5.746	0.442	0.0442	2.4752	3.4476	1.2818	0.442	0.442	0.884	2.21	2.21	0.442	8.398
ottobre	3.4034	0.442	3.094	7.956	0.442	16.796	0.442	0.442	0.442	3.978	1.326	1.768	
novembre	5.304	3.2708	1.9006	4.862		0.442	2.652	3.094	4.42	2.2984	1.768		6.63
dicembre	4.42	3.4034	4.42	28.288	4.1106	0.442	4.862	5.304	3.978	2.21	1.7238	3.978	3.094

**Tabella 30 Nitriti**

NO <sub>2</sub> mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	0.0313	0.0313	0.01565		0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	
febbraio	0.0313	0.0313	0.01565	0.01565		0.01565	0.01565	0.01565	0.01565
marzo	0.0313	0.0313	0.01565	0.01565		0.01565	0.01565		0.01565
aprile	0.0313	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565
maggio	0.0313	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565
giugno	0.0313	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565
luglio	0.0313		0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565
agosto		0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565
settembre	0.0313	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565
ottobre	0.0313	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565
novembre	0.0313	0.01565	0.01565	0.01565		0.01565	0.0626	0.0313	0.01565
dicembre	0.0313	0.1252	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.0626	0.01565	0.01565

**Tabella 31 Ossigeno disciolti**

O <sub>2</sub> mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	10.6	11.7	14.0		10.5	12.5	12.5	13			13.0	14	12.3
febbraio	11	11	14.8	12.5		13.5	14.3	12.8			13.0	13	
marzo	10.5	11.2	10.7	11.5		11.7	11.7		10.95	12.0	12.0	12	
aprile	9.9	10.4	10.5	10.1	9.85	11.2	9.1	10.15	10.3	12	10.0	12.1	11.4
maggio	9.3	9	9.7	9.1	7.95	9.6	8.2	7.3	10.1	13.0	10.0	11	10.9
giugno	8.9	9.3	9.5	7.8	7.5	6.8	7.8	7.7	7.3	11.0	10.0	10.4	9.5
luglio	9.4	9.8	7.9	7.1	7.3	7	7.6	7.2	6.5	7.0	8.0	10	10.2
agosto		9.4	8.4	6.2	7.8	6.7	4.7	6.6	7.4	7.0	10.0	9.3	
settembre	10	10.2	6.9	6.8	5	7.9	8.6	7.5	7.8	9.0	8.0		10.7
ottobre	9.1	12.3	10	9.5	8.2	8.1	9.6	8.3	8.7	10.0	11.0		
novembre	11.9	11	10.5	9.1		9.6	11.7	9.2	8.8	16.0	9.0		9.2
dicembre	12.1	12.7	11.4	10.1	14.1	10	15.1	10.3	11.7	11.0	12.0		12.7

**Tabella 32 BOD5**

O2 mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	1	2	1		5	1	1	1			1	1	1
febbraio	1	1	2	1		2	1	1	2		11	4	
marzo	1	1	1	1		1	1		2.5	3	3	3	
aprile	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2.5	5	1	1
maggio	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	4	2	1
giugno	1	1	1	2	1	1	1	3	1	1	1	1	1
luglio	2		3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
agosto		1	1	1	2	1	1	2	1	1	3	1	
settembre	0.5	1	7	1	1	1	1	1	2.5	3	1	1	1
ottobre	0.5	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	
novembre	0.5	2	1	1		1	3	1	1	3	1		6
dicembre	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	2	3	1

**Tabella 33 COD**

O2 mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	19	5	16		17	2	14	2			2	2	2
febbraio	8	5	4	16		2	2	2	6		17	9	
marzo	7	11	2	8		14	16		2	2	8	4	
aprile	9	2	13	15	2	15	15	4	2	9.5	10	2	5
maggio	15	2	16	2	3.5	17	2	2	2	6	10	2	2
giugno	27	2	15	41	14	17	17	2	2	12	2	2	2
luglio	37		19	11	18	2	2	2	2	5	2	2	2
agosto		11	37	6	5	17	2	2	5	10	2	2	
settembre	12	2	38	17	15	2	16	2	5	14	2	2	2
ottobre	18	23	37	18	2	2	19	2	4	2	2	2	
novembre	8	5	17	2		15	2	2	2	6	2		10
dicembre	28	15	15	17	17	13	6	4	6	7	2	5	2

**Tabella 34 Ortofosfato**

P mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	0.05	0.05	0.005		0.005	0.005	0.005	0.005			0.01	0.01	0.005
febbraio	0.05	0.05	0.005	0.005		0.005	0.005	0.005	0.005		0.01	0.01	
marzo	0.05	0.05	0.005	0.005		0.005	0.005		0.005	0.005	0.01	0.01	
aprile	0.05	0.15	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.01	0.005
maggio	0.05	0.55	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.01	0.005
giugno	0.05	0.005	0.38	0.12	0.005	0.005	0.005	0.02	0.005	0.05	0.01	0.01	0.005
luglio	0.05		0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.01	0.005
agosto		0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.01	
settembre	0.05	0.28	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.01	0.01
ottobre	0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.01	
novembre	0.05	0.005	0.005	0.005		0.005	0.005	0.01	0.005	0.005	0.01		0.005
dicembre	0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.01	0.005

**Tabella 35 Fosforo totale**

P mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	0.05	0.05	0.005		0.005	0.005	0.005	0.03			0.01	0.01	0.005
febbraio	0.05	0.05	0.005	0.005		0.005	0.005	0.005	0.06		0.01	0.01	
marzo	0.05	0.05	0.005	0.005		0.005	0.005		0.0075	0.005	0.01	0.01	
aprile	0.05	0.2	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.0125	0.03	0.005	0.01	0.01	0.005
maggio	0.05	0.6	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.005	0.005	0.01	0.01	0.005
giugno	0.05	0.005	0.48	0.16	0.005	0.005	0.005	0.02	0.005	0.06	0.01	0.01	0.005
luglio	0.6		0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.03	0.005	0.005	0.01	0.01	0.005
agosto		0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.005	0.005	0.01	0.01	
settembre	0.05	0.3	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.01	0.01
ottobre	0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01	0.01	
novembre	0.05	0.005	0.005	0.005		0.005	0.01	0.1	0.005	0.005	0.01		0.005
dicembre	0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.08	0.02	0.005	0.005	0.01	0.01	0.005

**Tabella 36 cloruri**

Cl mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	14	19	16		26	21	18	18			14.0	18	16
febbraio	12	26	27	17		25	24	14	12		15.0	22	
marzo	11	21	13	13		17	20		13.5	12	10.0	16	
aprile	9	19	17	16	13	27	23	14	12	13.5	12.0	17	10
maggio	9	21	15	15	20.5	27	29	18	12	9	14.0	13	13
giugno	17	19	19	20	25	34	29	13	16	9.9	14.0	13	16
luglio	17	27	22	21	45	30	27	17	18	18	17.0	20	19
agosto		22	22	30	59	179	32	21	22	27	18.0	22	
settembre	19	20	22	46	32	32	38	22	30	19	21.0		30
ottobre	21	13	18	31	33	540	34	27	27	23	21.0		
novembre	14	19	36	13		31	25	18	18	17	23.0		29
dicembre	24	10	17	135	18	27	23	14	22	12	23.0		14

Tabella 37 solfati

SO4 mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	100	95.0	107		130	85	93	111			74.0	116	103
febbraio	80	103.0	87	94.5		87	99	94	78		71.0	92	
marzo	74	100.0	74	65		76	112		84.5	74	60.0	74	
aprile	67	105.0	90	72	76	101	115	81	74	81.5	72.0	100	62
maggio	93	92.0	91	83	107.5	109	133	105	85	78	103.0	84	89
giugno	117	140.0	189	120	130	108	145	82	132	82.7	103.0	108	86
luglio	129	154.0	168	16	159	125	120	107	126	110	116.0	135	113
agosto		140.0	140	170	323	150	130	129	131	119	123.0	124	
settembre	149	222.0	156	151	175	126	170	126	139	119	131.0		128
ottobre	154	99.0	221	101	164	387	156	141	137	119	140.0		
novembre	128	118.0	121	61		170	146	125	125	69	157.0		133
dicembre	150	63.0	126	350	77	162	131	83	126	58	168.0		84

Tabella 38 calcio

Ca mg/l	2010	2011	2012	2013
gennaio		62.4	40.5	81.2
febbraio		77.1	80.5	
marzo	73.1	82.2	82.9	
aprile	69.65	68.0	76	74.4
maggio	63	80.8	71.7	79.9
giugno	72.6	69.6	87.2	76.3
luglio	85.6	77.1	83.5	74.3
agosto	91.7	81.0	83.2	
settembre	88.3	86.6		97.3
ottobre	83.2	87.7		
novembre	71	93.8		98.6
dicembre	71	67.2		78

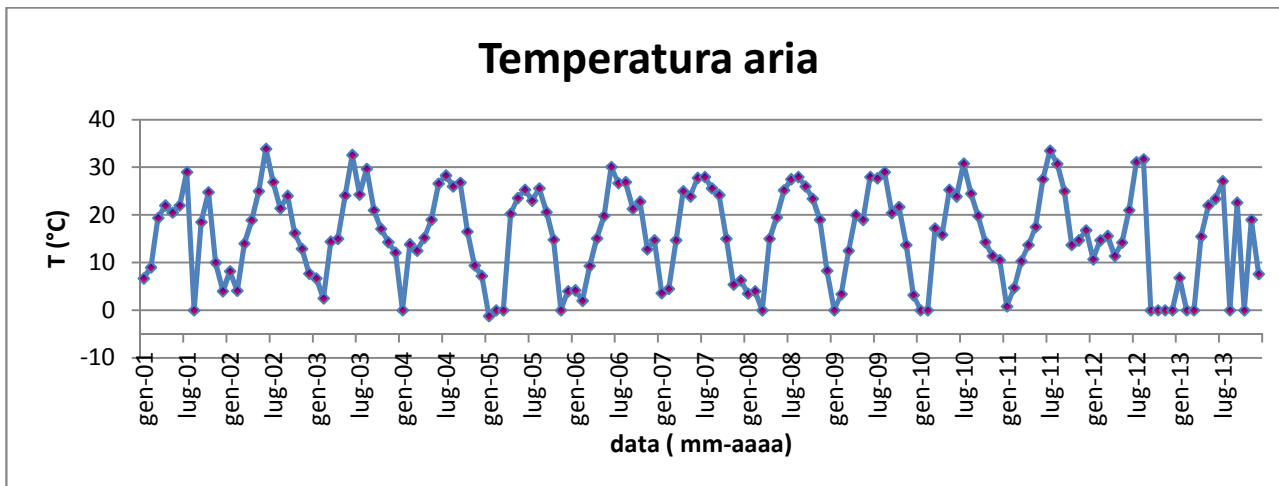


Figura 23 Temperatura aria

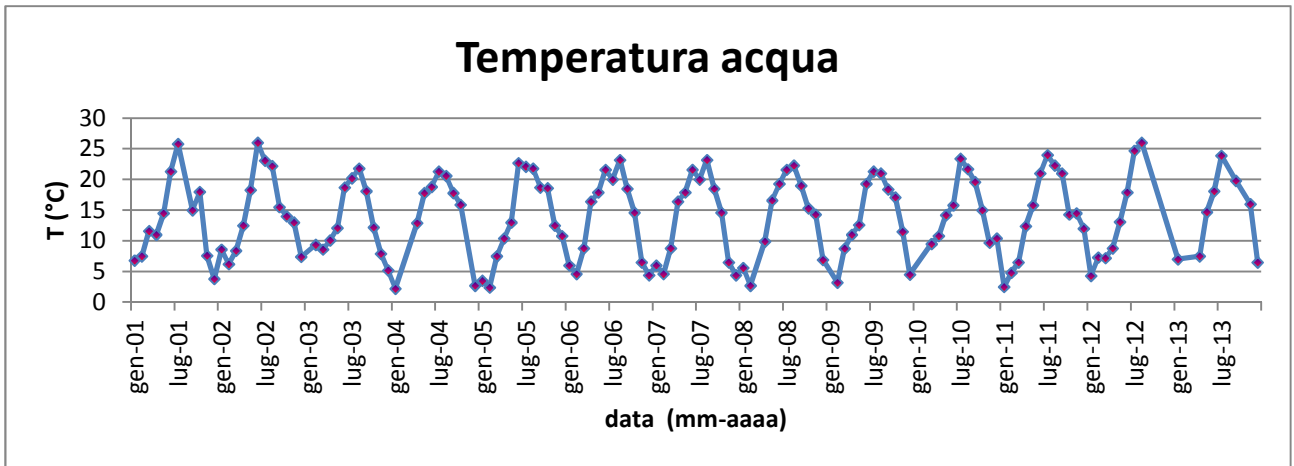


Figura 24 Temperatura acqua

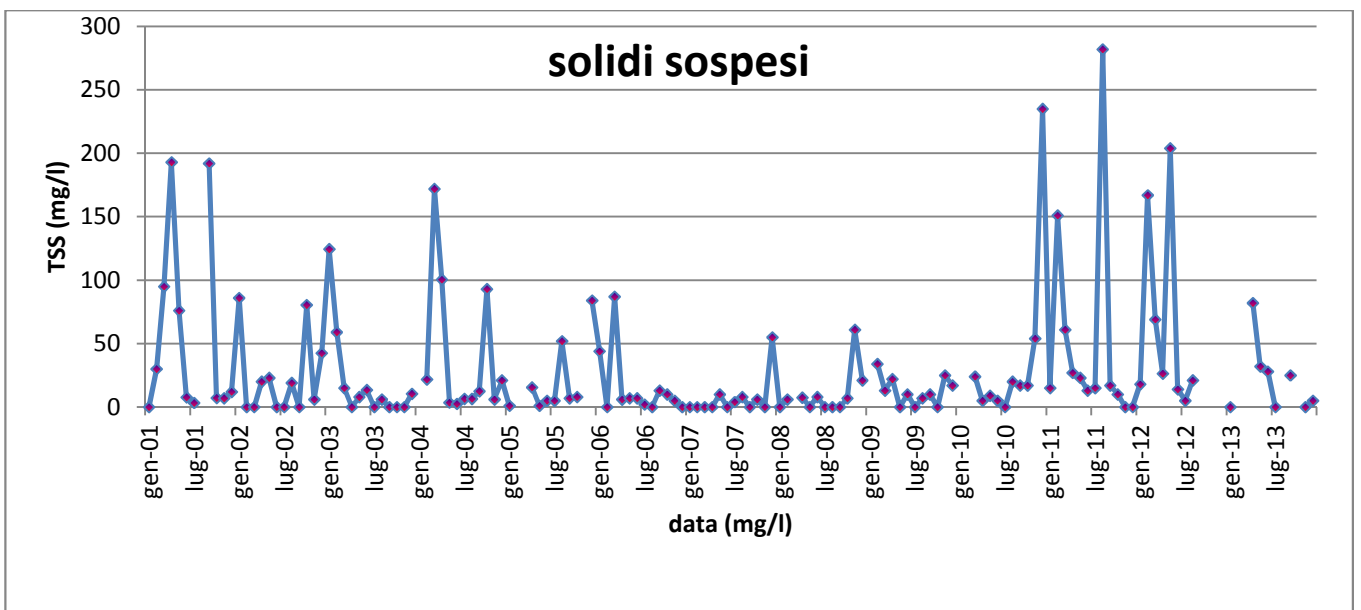


Figura 23 solidi sospesi

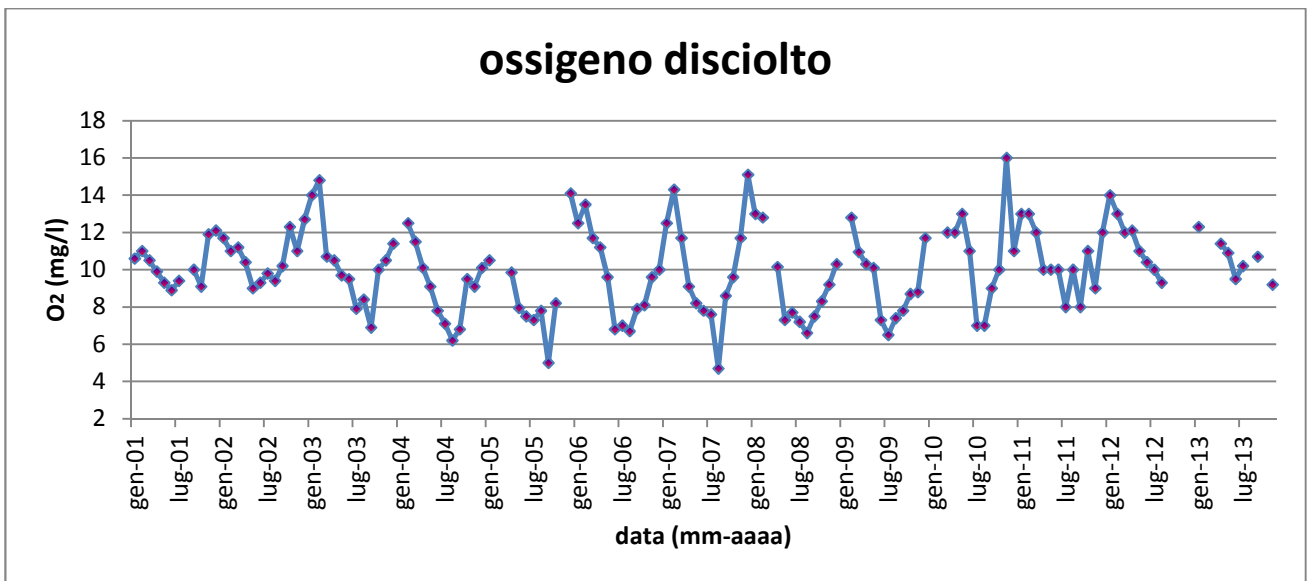


Figura 26 ossigeno disciolto

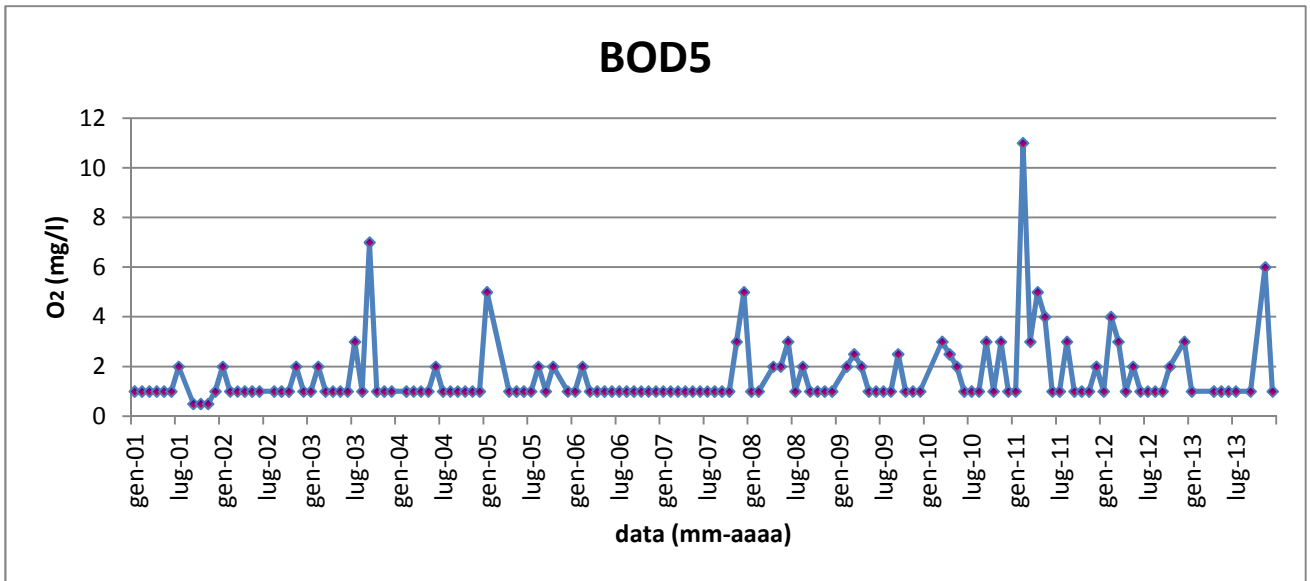


Figura 27 BOD5

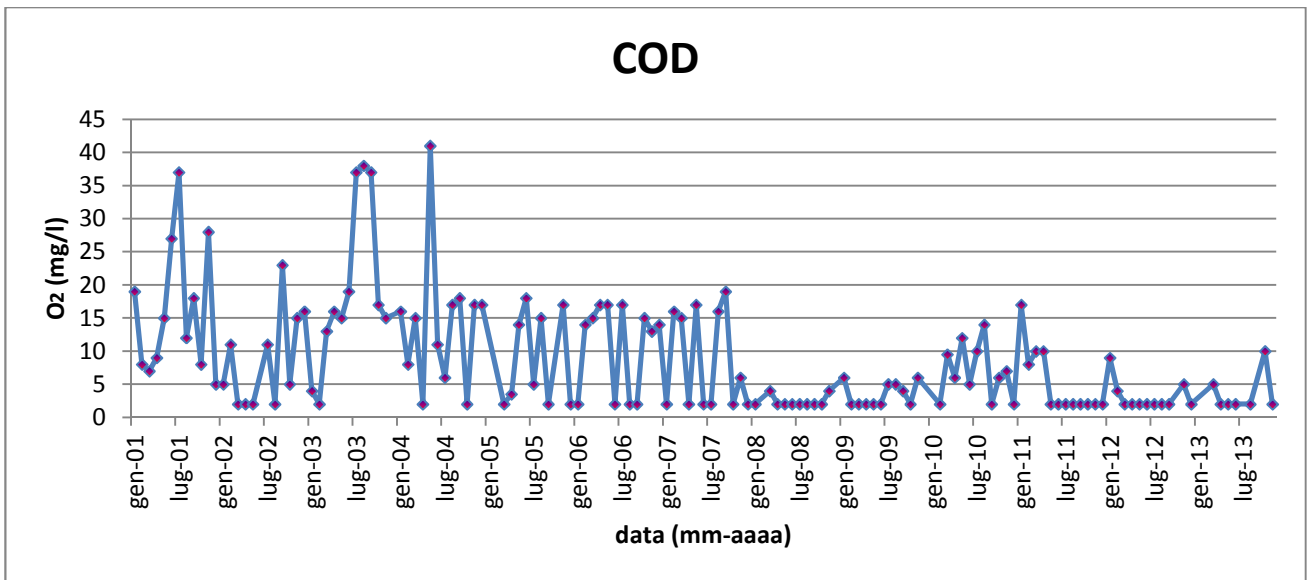


Figura 28 COD

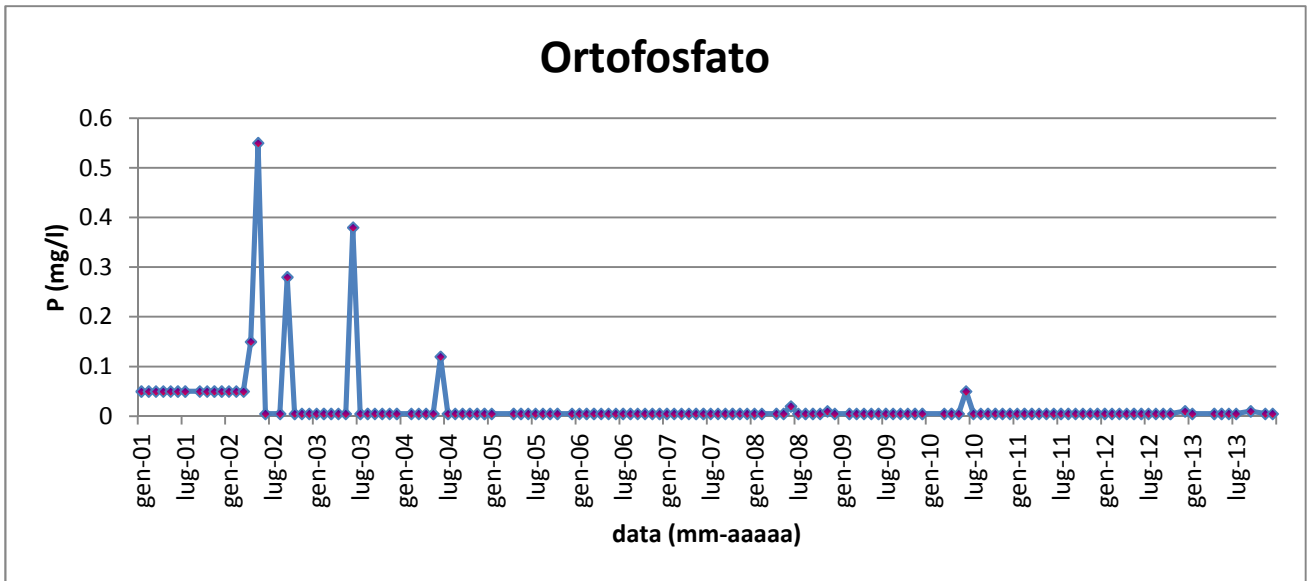


Figura 29 ORTOFOSFATO

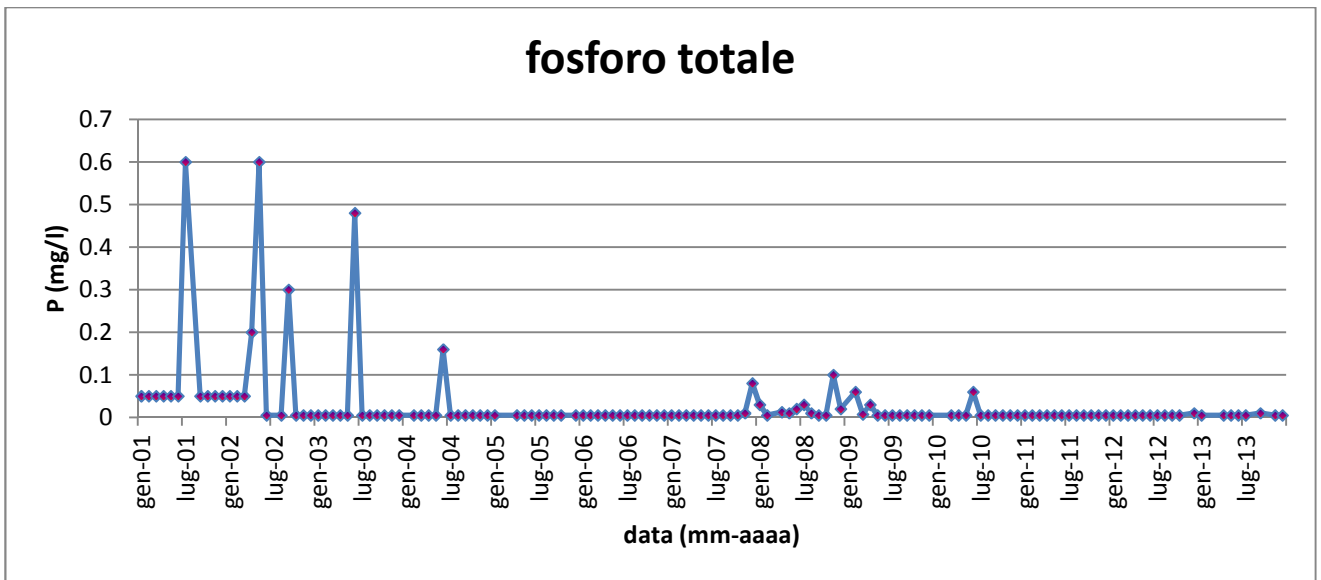


Figura 30 fosforo totale

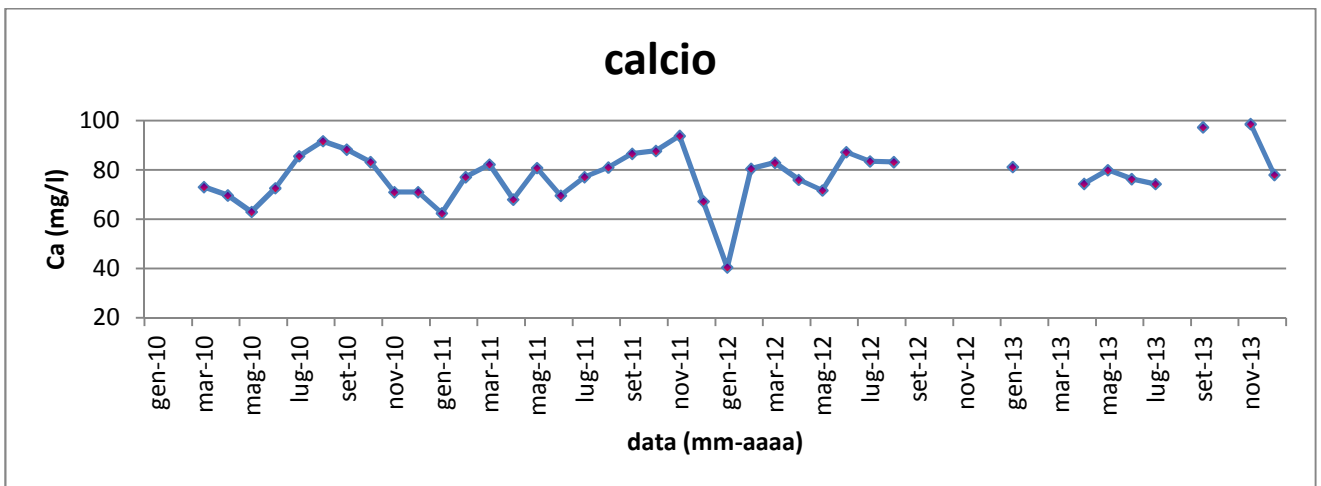


Figura 31 calcio



Figura 24 box plot ammoniaca

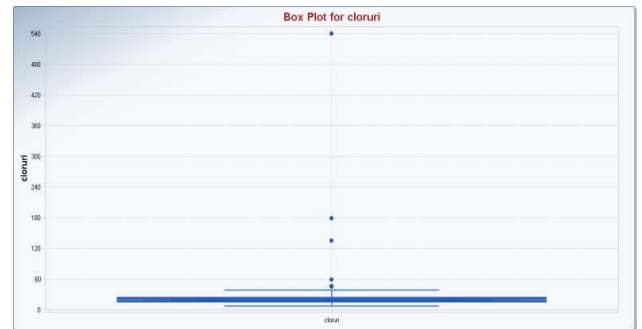


Figura 33 box plot cloruri



Figura 34 box plot azoto totale

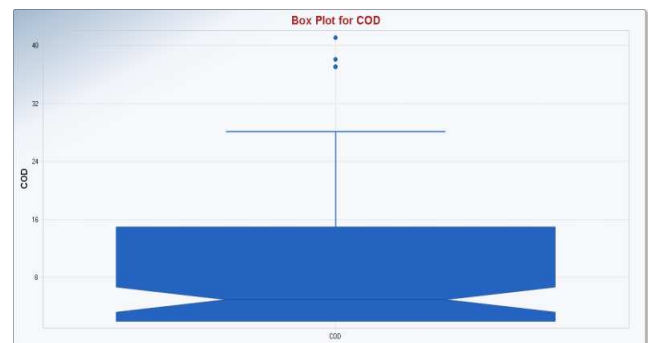


Figura 35 box plot COD

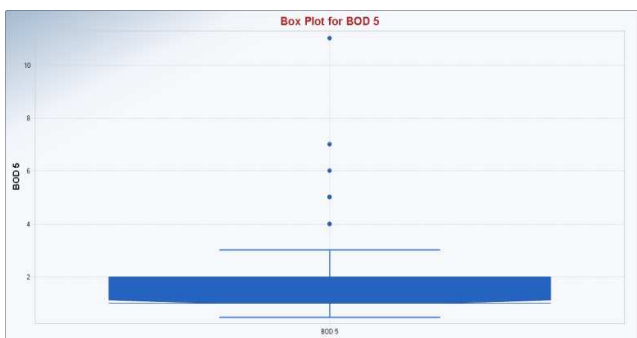


Figura 25 box plot BOD5

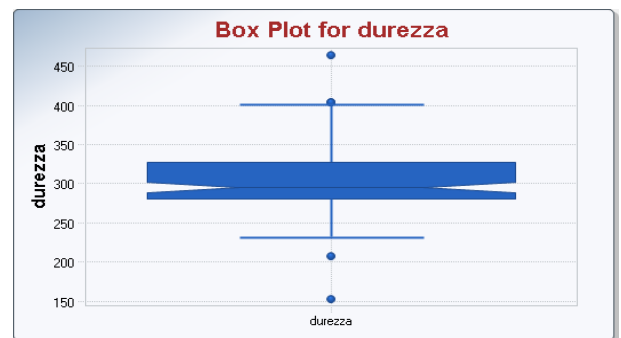


Figura 37 box plot durezza

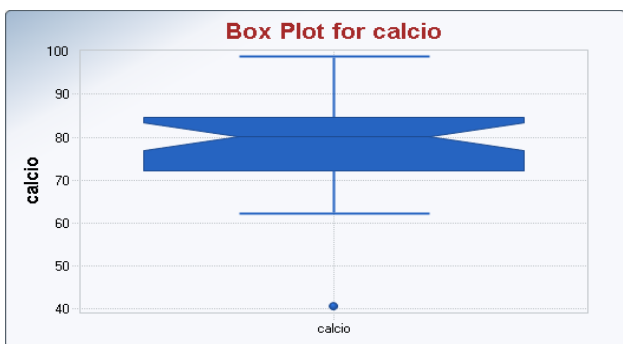


Figura 38 box plot calcio



Figura 39 box plot fosforo totale



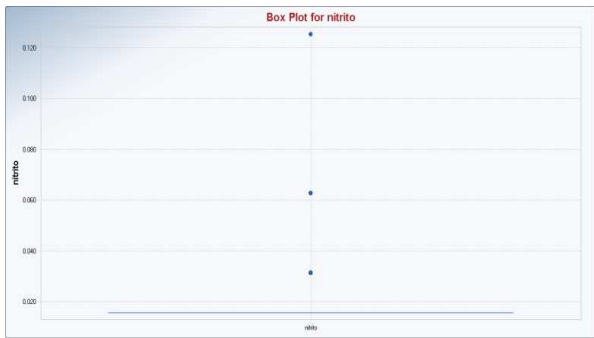


Figura 26 box plot nitrito

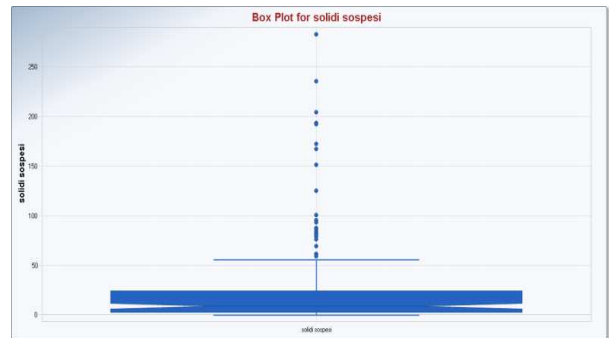


Figura 41 box plot solidi sospesi



Figura 42 ortofosfato

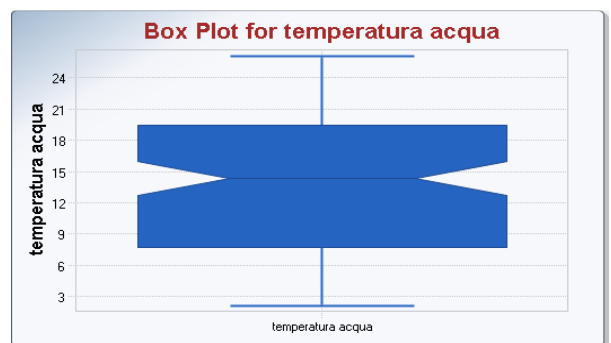


Figura 28 box plot temperatura acqua

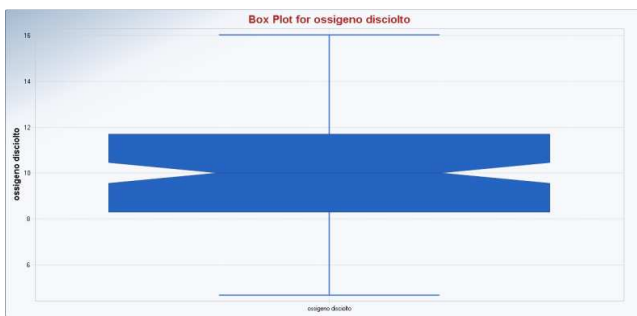


Figura 44 ossigeno disciolto

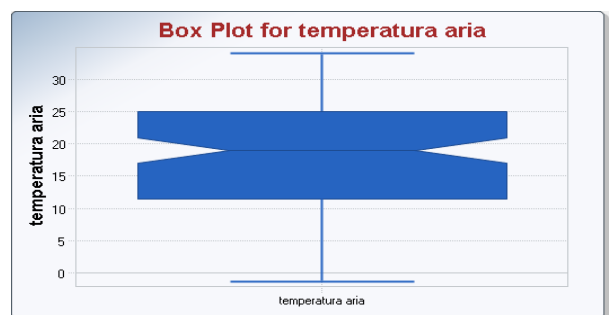


Figura 29 box plot temperatura aria

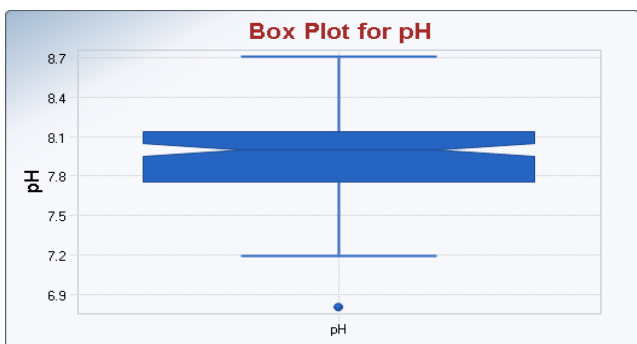


Figura 27 box plot pH

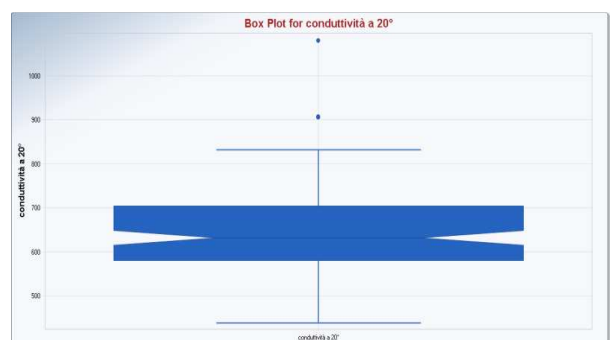


Figura 47 conducibilità.

Via Trasversale Marecchia: terzo punto di campionamento ARPA

**Tabella 39 temperatura acqua**

°C	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	7		5.5		3	4	7.4	6.3		3.1	3.2	3.9	6.9
febbraio	7.6		2.8	10.05		2.7	5.6	2.9	3.1		5.0	5.9	
marzo	14	10.7	9.6	8.9		7.9	11		8.8	13.3	7.0	6.6	
aprile	11	13.1	13.7	11.2	14.95	11.9	16.9	10.7	11.4	13.05	12.8	8	10
maggio	15.5	19	21.8	15.1	20.7	14.8	21	19.1	12.6	18.7	15.2	13.4	16.3
giugno	21.6	29.2	27.8	23.3	22.2	24.8	26.2	19.5	20.6	19.1	22.8	19.3	20
luglio		28.0		25.5	23.5	27.2		23.9	22.5	26.8	27.5		25.3
agosto		23.5		27	23.9	21.9		28.8		23.5	26.6		
settembre	15.1	17.8		20.2	19.6	23.9				20.8		19.25	
ottobre	22.2	13.7	16.0		16.3	20.6	14.3		13.1	14.3	12.1	14.35	
novembre	8.2	13.7	12.6	8.3		12.7	8.1	12.3	11.8	10.6	10.7		11
dicembre	4	8.4	8.1	5.8	2.8	10.3	4.5	6.9	4	9.1	10.5	3.2	5.1

**Tabella 40 temperatura aria**

°C	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	5.4		9		-1	7.2	6.4	9.5		1.7	-1.0	2.6	9.3
febbraio	11.1		3.3	7.3		5	9	6	3.7		6.5	14.8	
marzo	19.6	13.2	15.1	13.2		11	16.2		11.75	22.2	13.4	13.7	
aprile	21	19.3	16	16.3	19.85	18.3	24.5	16.5	18.5	15.5	14.6	10.4	14.5
maggio	20.5	20.7	24.4	19.2	21.7	22	24	22.5	17.6	23.8	16.5	13.1	23
giugno	22	30.2	32.4	28.1	29.5	30	31	24.8	25.3	23.5	27.7	23.2	23.4
luglio		24		31.5	28	29.8		28.6	29.6	33.2	34.0		26.8
agosto		23		31	23.8	26.7		32		25.5	30.0		
settembre	18.9	22.8		23.2	24.7	28.3				21.0		23.4	
ottobre	25.3	18.8	17.0		15.5	25.6	18		18	12.0	13.7	15.05	
novembre	11.1	13.5	13.5	9.4		15.3	8.8	15.233333	15.55	8.6	11.95		13.9
dicembre	4	9.6	11.7	9	5.2	15.2	6.7	7.4	2	7.2	17.9	3.2	5.7

**Tabella 41 pH**

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	8		8.17		8.3	8.3	6.8	8		7.8	8.5	8.1	8.2
febbraio	8		8.30	8.03		8.2	7.7	8.2	7.7		8.3	8.3	
marzo	8.5	7.9	7.90	8.15		8	7.6		7.8	7.8	8.4	7.5	
aprile	7.8	8.04	7.93	8.2	8.15	7.8	8	7.9	8	7.65	8.1	7.6	7.7
maggio	7.8	8.02	8.15	8.32	8.2	8.1	7.8	8.2	8	7.7	7.9	7.6	8.1
giugno	8.2	7.80	7.87	8.02	7.9	8.2	7.6	8.2	8.1	8.2	8.0	7.3	8.2
luglio		7.68		8	7.9	8.2		7.9	8.1	8.4	7.8		8.2
agosto		7.66		8.2	8.1	8.2		8.2		7.2	7.8		
settembre	8.04	8.02		7.84	7.8	7.9				7.8		8	
ottobre	8.13	7.90	8.06		7.9	7.7	8.05		7.4	7.5	8.1	7.45	
novembre	7.99	8.06	8.19	8.1		7.8	7.633333	7.533333	7.9	8.2	8.1		8.3
dicembre	7.8	8.13	8.04	8	8.4	8.3	8.3	7.3	7	8.3	8	8.3	8.1

**Tabella 42 solidi sospesi**

mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	33		149		19	32	2.5	2.5		7	67	116	55
febbraio	89.5		147	42.9		15	2.5	21	92		127	267	
marzo	101	31	48	163		80	19		44.5	6	129	197	
aprile	160	111	29.5	69	36	16	15	24	44	15	161	172	72
maggio	137	93.5	64	6.5	13	33	8	13	22	8	86	283	98
giugno	23.3	2.5	48.5	25	12	25	6	17	17	5	117	84	32
luglio		2.5		0	12	8		2.5	8	41	43		22
agosto		2.5		16.5	126	13		2.5		21	7		
settembre	184	22		9	6	9				0		55.5	
ottobre	8.7	257	58		10	6	9		50	28	27	63	
novembre	0.5	20.5	44.5	36		5	45.33	36.17	38.5	109	9		77
dicembre	13	82.5	45	63	79	2.5	62	48	78	157	15	167	42.5

**Tabella 43 conduttività**

µS/cm	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	578		652		564	629	698	634		601	690	647	630
febbraio	538		615	571		614	645	647	629		680	750	
marzo	716	563	555	517		593	567		607.5	556	585	731	
aprile	512	550	540	493	564.5	591	632	594.5	568	561.5	570	743	570
maggio	482	500	557	500	633	569	645	620	582	590	636	650	610
giugno	647	644	622	678	679	612	685	700	695	520	605	668	520
luglio		686		838	720	665		706	693	581	650		600
agosto		690		638	747	720		716		701	740		
settembre	619	644		931	719	730				1073		785	
ottobre	736	570	740		785	816	972.5		783	677	737	1091	
novembre	646	558	602	576		782	760.33	647.67	714	582	727		510
dicembre	634	525	607	546	624	794	732	612	729	545	730	580	575

**Tabella 44 durezza**

CaCO <sub>3</sub> mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	293		446		293	289	314	256		281	282	380	254
febbraio	270		318	280		286	286	290	292		281	304	
marzo	328	310	289	275		282	273		277.5	308	281	268	
aprile	271	166	260	311	285.5	300	260	275.5	248	306	235	288	250
maggio	267	260	311	311	278.5	318	268	248	272	244	273	243	250
giugno	280	307	339	289	303	314	278	216	260	264	260	241	238
luglio		282		287	293	264		300	188	276	255		252
agosto		320		318	340	282		268		309	286		
settembre	339	303		468	321	296				349		290	
ottobre	375	321	357		321	346	430.5		334	274	325	322	
novembre	318	293	361	287		346	320.6667	310.667	325.5	275	365.5		247
dicembre	328	303	321	293	303	371	300	260	345	250	352	280	285

**Tabella 45 azoto totale**

N mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006
gennaio	1		1.2		1.4	1.1
febbraio	1.7		1	1		0.95
marzo	1.9	1.1	1	1		0.68
aprile	1.3	1	0.92	0.65	0.9	1.1
maggio	0.9	0.25	0.63	0.45	0.915	0.72
giugno	1.1	0.25	0.41	0.38	0.25	0.25
luglio		0.25		0.25	0.25	0.25
agosto		0.25		0.01	1.3	0.25
settembre	1.5	0.25		0.54	0.25	0.25
ottobre	0.9	0.77	1.2		0.25	0.6
novembre	1	1	0.52	1.3		0.25
dicembre	1.3	0.68	0.97	2.7	0.9	0.25

**Tabella 46 ammoniacale**

NH <sub>3</sub> mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	0.03	0	0.012	0	0.012	0.012	0.012	0.024	0	0.012	0.012	0.012	0.012
febbraio	0.03	0	0.012	0.012	0	0.012	0.012	0.036	0.084	0	0.012	0.012	0
marzo	0.03	0.03	0.012	0.012	0	0.012	0.012	0	0.024	0.012	0.012	0.012	0
aprile	0.03	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.018	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
maggio	0.03	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.048	0.036	0.012	0.012	0.012	0.012
giugno	0.03	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.036	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
luglio	0	0.012	0	0.012	0.012	0.012	0	0.012	0.012	0.012	0.012	0	0.012
agosto	0	0.012	0	0.012	0.012	0.012	0	0.012	0	0.012	0.012	0	0
settembre	0.03	0.012	0	0.012	0.012	0.012	0	0	0	0.012	0	0.012	0
ottobre	0.03	0.012	0.012	0	0.012	0.012	0.012	0	0.012	0.012	0.012	0.012	0
novembre	0.03	0.012	0.012	0.012	0	0.012	0.052	0.024	0.012	0.012	0.012	0	0.012
dicembre	0.03	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.084	0.048	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012

Tabella 47 nitrati

NO <sub>3</sub> mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	4.42		5.304		6.188	4.862	1.5028	4.42		3.978	1.326	3.536	3.978
febbraio	7.514		4.42	4.42		4.199	10.608	4.42	4.862		3.536	7.956	
marzo	8.398	4.862	4.42	4.42		3.0056	0.442		4.199	3.978	2.652	3.978	
aprile	5.746	4.42	4.0664	2.873	4.0443	4.862	1.5028	0.221	2.652	2.431	2.652	2.652	2.21
maggio	3.978	0.442	2.7846	1.989	4.0443	3.1824	0.442	1.326	2.21	1.8122	2.21	2.652	2.21
giugno	4.42	0.442	1.8122	1.6796	0.442	0.442	0.442	1.326	1.326	1.2818	2.652	1.326	1.326
luglio		0.442		1.105	0.442	0.442		0.442		0.884	0.442		0.442
agosto		1.768		0.442	5.304	0.442		0.442		1.4144	0.442		
settembre	5.746	0.442		2.3868	0.442	1.326				0.442		0.663	
ottobre	3.094	3.4034	5.304		0.442	2.652	0.442		6.188	2.652	1.768	1.105	
novembre	4.42	3.536	2.2984	5.746		0.442	2.21	1.768	2.652	2.21	1.105		3.536
dicembre	5.746	3.0056	4.2874	11.934	3.978	0.442	4.42	5.0388	5.304	1.326	1.768	3.978	3.315

Tabella 48 nitriti

NO <sub>2</sub> mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	0.0313		0.01565		0.01565	0.01565	0.01565	0.0626	
febbraio	0.0313		0.01565	0.01565		0.01565	0.01565	0.01565	0.01565
marzo	0.0313	0.0313	0.01565	0.01565		0.01565	0.01565		0.01565
aprile	0.0313	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.039125	0.01565
maggio	0.0313	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565
giugno	0.0313	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565
luglio		0.01565		0.01565	0.01565	0.01565		0.01565	0.01565
agosto		0.01565		0.01565	0.17215	0.01565		0.01565	
settembre	0.0313	0.01565		0.01565	0.01565	0.01565			
ottobre	0.0313	0.01565	0.01565		0.1565	0.01565	0.01565		0.03443
novembre	0.0313	0.2191	0.01565	0.01565		0.01565	0.0313	0.020867	0.01565
dicembre	0.0313	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.01565	0.0626	0.01565	0.01565

Tabella 49 ossigeno disciolto

O <sub>2</sub> mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	10.6		11.5		10.2	13.4	12.2	14		13	14.0	14	12.5
febbraio	10.7		13.7	10.1		14.4	15	14	13.4		13.0	12	
marzo	10.7	11.2	11.2	11		11.4	11.2		10.35	10	12.0	12	
aprile	10	10.2	10.1	9.2	10.25	10.9	8.6	10.4	10.3	11	10.0	13	7.8
maggio	9.4	9.3	9.5	8.4	8.2	9.3	7	7.2	9.5	10.0	10.0	11	10.5
giugno	8.5	8.3	8.6	8.4	7.3	6.7	6.9	7.5	7.9	11.0	10.0	10.1	10
luglio		7.6		5.9	7.5	6		5.5	5.9	9.0	8.0		9.9
agosto		9.1		5.6	7.1	8.6		6.4		7.0	9.0		
settembre	10.1	10.3		7.1	4.7	6.6				7.0		10.45	
ottobre	8.9	10.8	9.9		8.4	8	9.2		9.9	10.0	10	10.35	
novembre	12.1	11	10.8	8.6		10	11.2	10.6	10.45	17.0	9.5		10.6
dicembre	11.6	10.7	11.9	9.4	13.9	9.3	16	11.4	12.2	12.0	12	13.9	13.4

Tabella 50 BOD5

O <sub>2</sub> mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	1		2		2	1	2	2		1	1	1	1
febbraio	1		1	1.5		2	2	14	1		1	4	
marzo	1	1	3	1		1	1		3	1	3	1	
aprile	0.5	1	1	1	1	1	1	2	1	3	1	3	1
maggio	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1
giugno	0.5	2	1	1	2	1	1	6	1	2	1	1	1
luglio		5		1	1	1		1	1	1	1		1
agosto		4		1	2	1		2		1	1		
settembre	0.5	1		1	2	1				1		1	
ottobre	1	1	1		2	1	1		1	1	1	1	
novembre	1	1	1	1		1	3	1.666667	1	3	1		1
dicembre	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	2	1	1

**Tabella 51 COD**

O2 mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	11		18		13	2	14	5		10	7	2	2
febbraio	40		5	9		2	2	8	4		2	6	
marzo	18	8	5	8		14	16		4	2	6	2	
aprile	12	8	16	15	6.5	17	16	6.5	2	8.5	9	2	2
maggio	23	2	14	2	3	16	2	5	2	11	7	2	2
giugno	20	5	16	40	14	17	16	6	2	11	2	2	2
luglio		26		16	5	5		2	2	2	6		4
agosto		15		6	10	2		2		8	7		
settembre	2.5	25		5	7	18				2		2	
ottobre	8	2	2		14	15	20.5		10	6	11	3	
novembre	5	15	2	2		14	5	3.666667	5	2	14		2
dicembre	15	7	16	20	16	17	7	5	5	11	35	5	3

**Tabella 52 ortofosfato**

P mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	0.05		0.005		0.005	0.005	0.005	0.03		0.01	0.001	0.001	0.005
febbraio	0.05		0.005	0.005		0.005	0.005	0.005	0.005		0.001	0.001	
marzo	0.05	0.02	0.15	0.005		0.005	0.005		0.005	0.005	0.001	0.001	
aprile	0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.001	0.001	0.005
maggio	0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	0.13	0.005	0.005	0.005	0.005	0.001	0.001	0.005
giugno	0.05	0.005	0.47	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.08	0.001	0.001	0.005
luglio		0.005		0.005	0.005	0.005		0.005	0.005	0.005	0.001		0.005
agosto		0.18		0.005	0.55	0.005		0.005		0.005	0.001		
settembre	0.05	0.005		0.005	0.005	0.005				0.005		0.001	
ottobre	0.05	0.005	0.005		0.005	0.005	0.005		0.005	0.005	0.001	0.001	
novembre	0.05	0.005	0.18	0.005		0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.001		0.005
dicembre	0.05	0.005	0.32	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.07	0.001	0.001	0.005

**Tabella 53 fosforo totale**

P mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	0.05		0.005		0.005	0.005	0.005	0.1		0.01	0.01	0.001	0.005
febbraio	0.05		0.005	0.005		0.005	0.005	0.01	0.1		0.01	0.001	
marzo	0.05	0.05	0.18	0.005		0.005	0.005		0.0225	0.005	0.01	0.001	
aprile	0.41	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.03	0.06	0.005	0.01	0.001	0.005
maggio	0.18	0.005	0.005	0.005	0.005	0.17	0.005	0.03	0.04	0.005	0.01	0.001	0.005
giugno	0.05	0.005	0.53	0.005	0.005	0.005	0.005	0.06	0.01	0.09	0.01	0.001	0.005
luglio		0.005		0.005	0.005	0.005		0.03	0.005	0.005	0.01		0.005
agosto		0.29		0.005	0.61	0.005		0.01		0.005	0.01		
settembre	0.05	0.005		0.005	0.005	0.005				0.005		0.001	
ottobre	0.05	0.005	0.005		0.005	0.005	0.005		0.005	0.005	0.01	0.001	
novembre	0.05	0.005	0.23	0.005		0.005	0.077	0.032	0.005	0.005	0.01		0.005
dicembre	0.05	0.005	0.45	0.005	0.005	0.005	0.09	0.05	0.005	0.08	0.01	0.001	0.01

**Tabella 54 cloruri**

Cl mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	15		16		18	21	29	18		17	12.0	21	16
febbraio	14		33	16		21	30	19	14		14.0	20	
marzo	62	19	13	13		22	22		14.5	13	10.0	21	
aprile	10	20	16	13	13.5	22	29	14.5	12	15	12.0	19	10
maggio	15	18	18	14	16	21	29	16	13	9	16.0	16	13
giugno	24	24	20	19	26	30	33	15	18	10	31.0	14	12
luglio		35		25	43	18		19	20	15	19.0		20
agosto		28		30	41	35		26		25	21.0		
settembre	20	25		35	27	35				25		28.5	
ottobre	26	13	27		37	23	63		28	25	27	33	
novembre	17	18	20	17.5		37	24	26.3	22	16	33		14
dicembre	32	14	18	17	15	33	23	14	21	12	35	11	14.5

Tabella 55 solfati

SO4 mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	98		107		103	80	112	112		87	73.0	119	105
febbraio	90		88	96.5		90	110	122	82		67.0	96	
marzo	90	107	75	62		75	115		85.5	79	61.0	76	
aprile	69	104	96	56	70	90	117	82.5	80	84.5	74.0	107	69
maggio	98	90	109	80	107	88	128	88	87	77	103.0	88	91
giugno	127	117	158	114	128	113	150	86	126	126	106.0	109	85
luglio		144.0		128	142	106		98	124	101	111.0		114
agosto		135		168	146	144		128		112	119.0		
settembre	150	142		275	114	155				132		187	
ottobre	217	105	206		161	164	311.5		147	122	159	198	
novembre	147	120	152	65		170	154	162	139	76	181		86
dicembre	220	69	134	78	82	170	134	87	131	59	198	72	84.5

Tabella 56 calcio

mg/l	2010	2011	2012	2013
gennaio	79.4	48.3	75.8	76.9
febbraio		78.7	92.6	
marzo	75	69.9	90.1	
aprile	68.2	62.4	90.7	69.6
maggio	62	69.8	61.8	74.4
giugno	68.3	67.7	70.9	63.4
luglio	58.4	67.0		62.9
agosto	75.7	80.0		
settembre	102.4		74.25	
ottobre	76.8	81.0	89.7	
novembre	64.3	99.2		77.1
dicembre	62.6	95.5	98	78.8

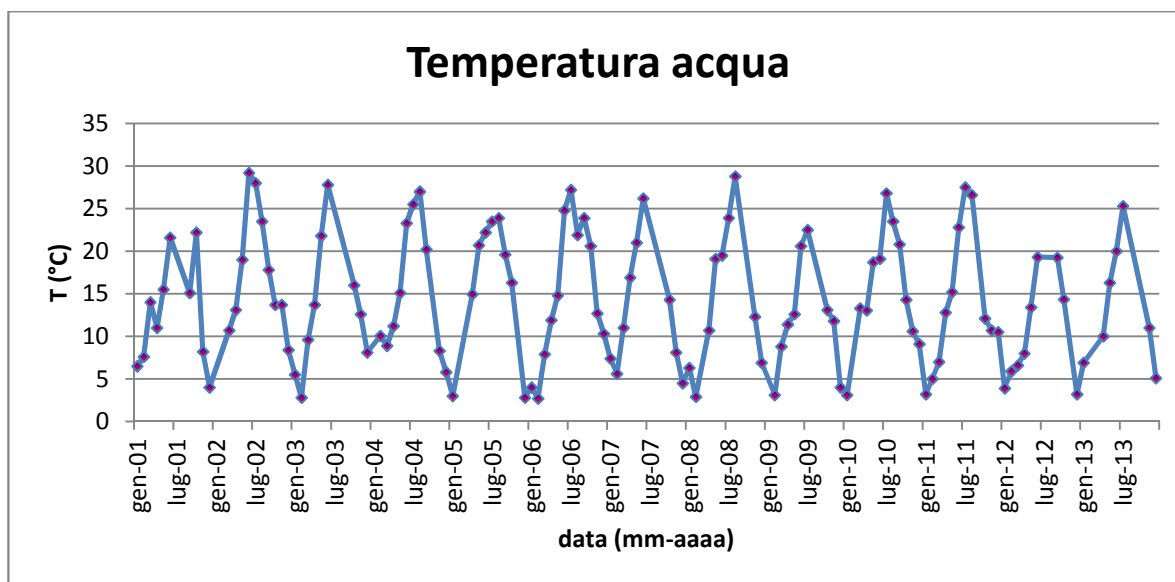


Figura 30 Temperatura acqua

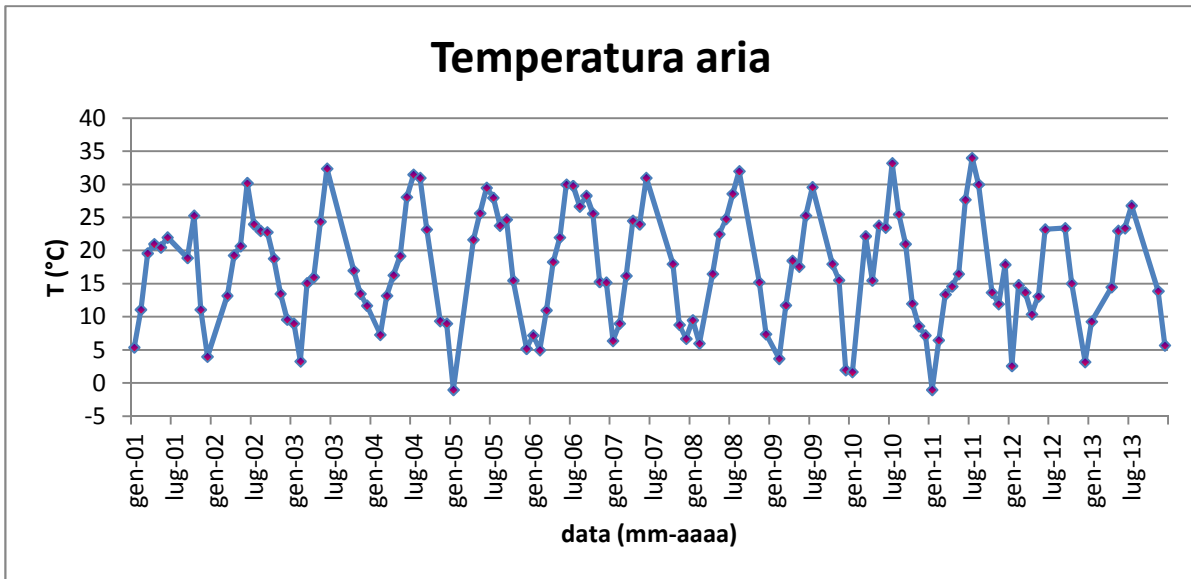


Figura 49 Temperatura aria

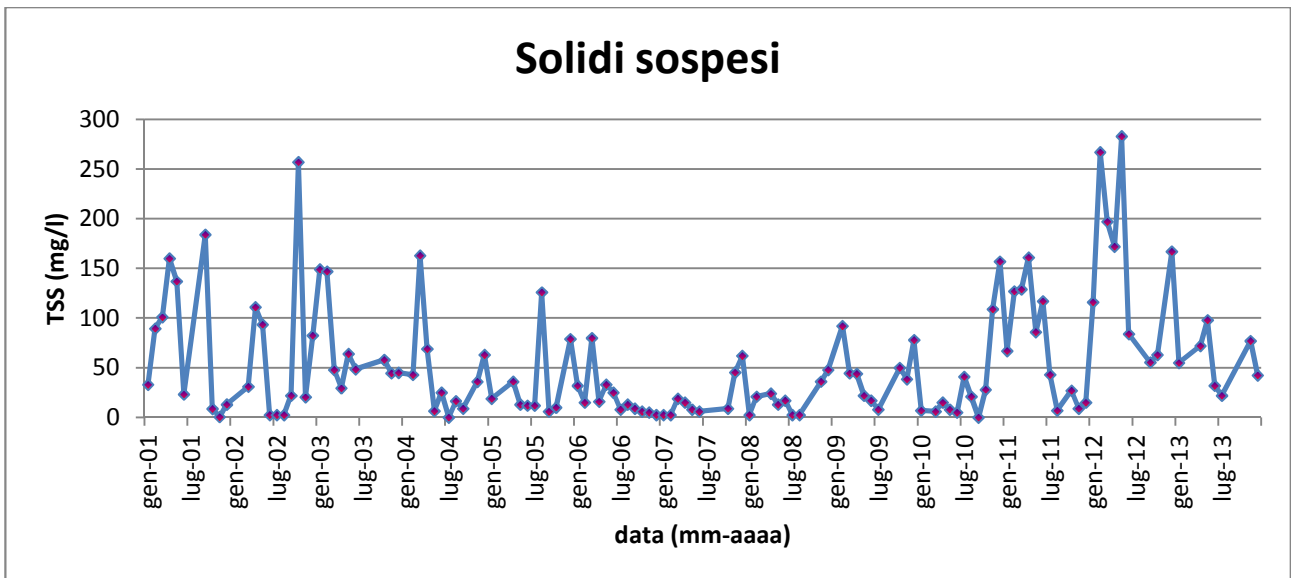


Figura 50 solidi sospesi



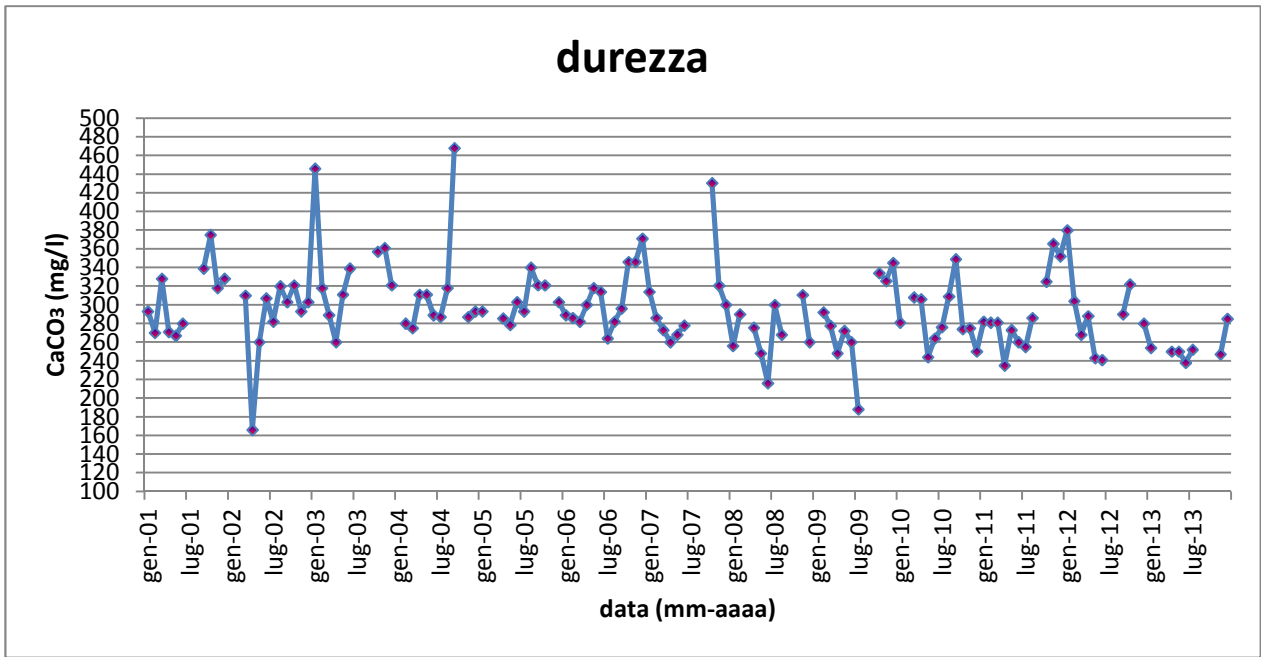


Figura 51 durezza

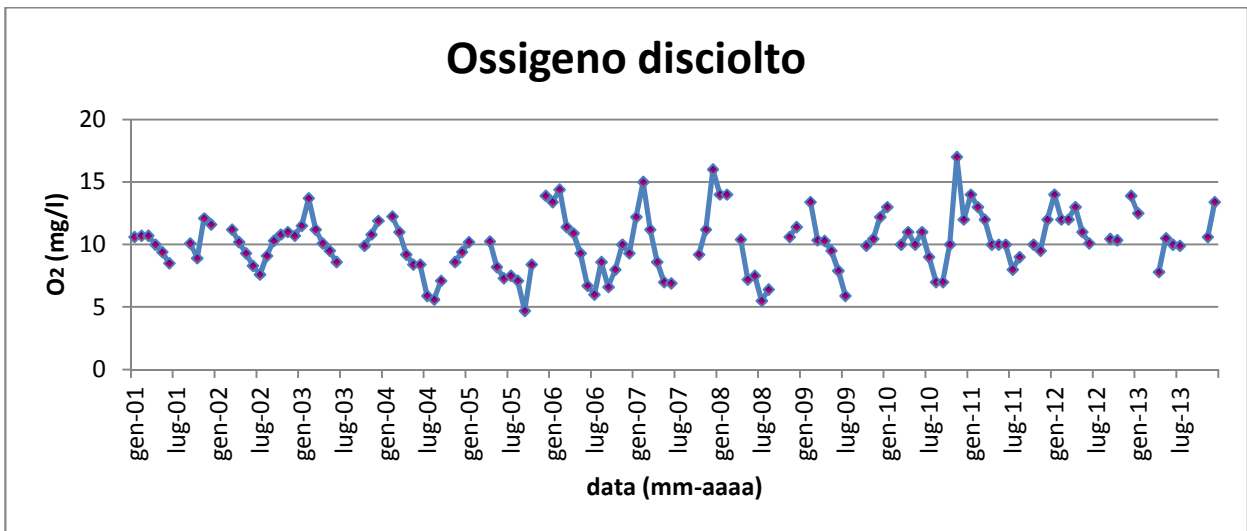


Figura 52 ossigeno disciolto



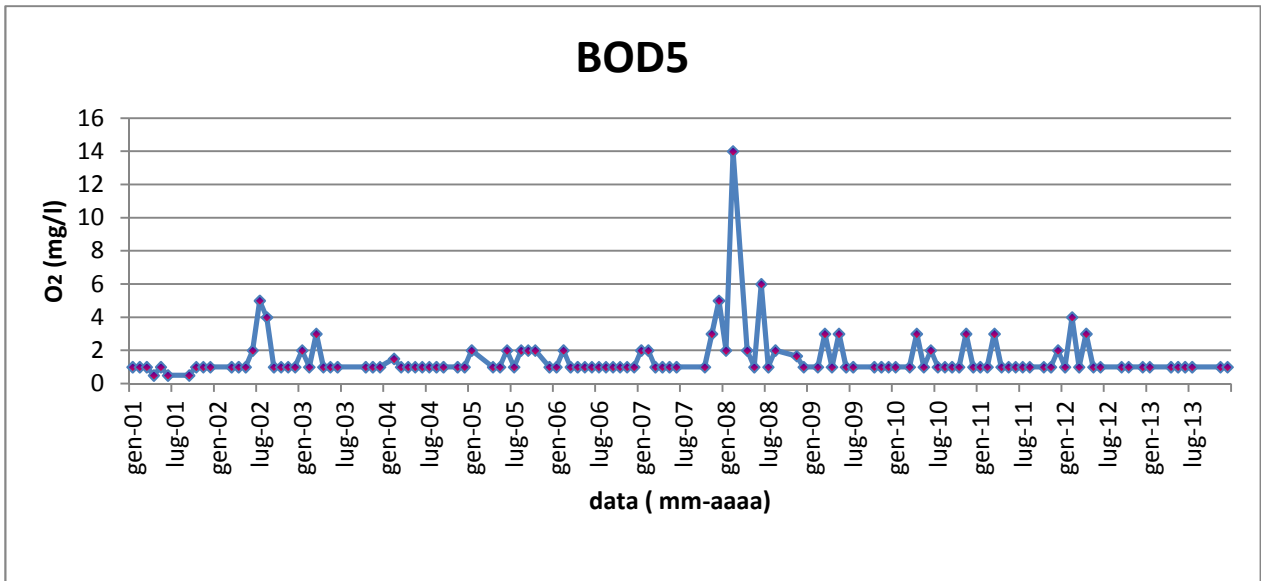


Figura 31 BOD5

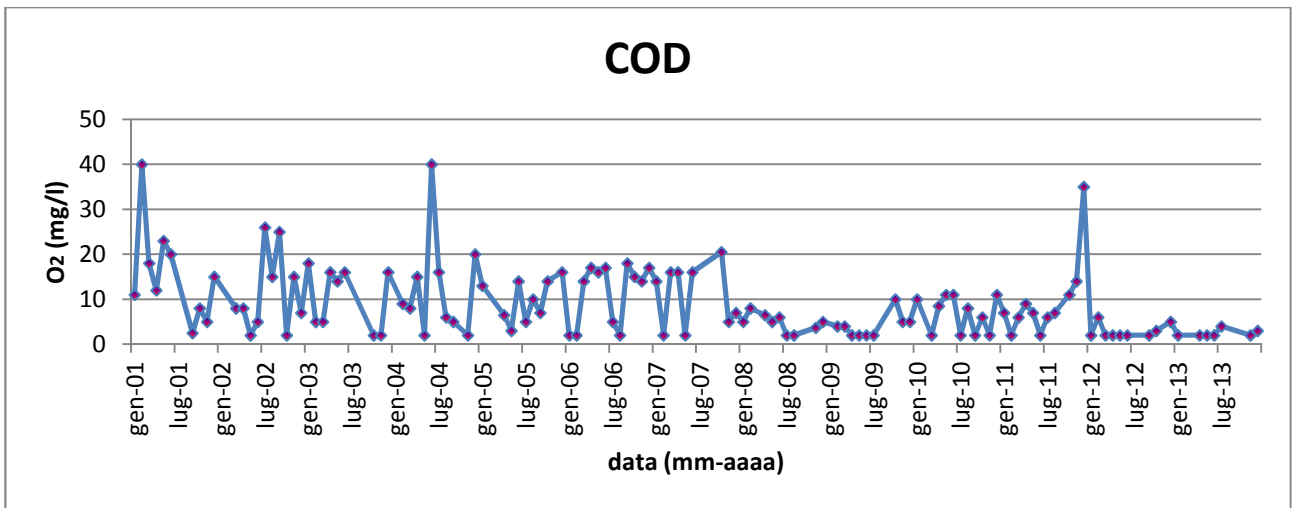


Figura 54 COD

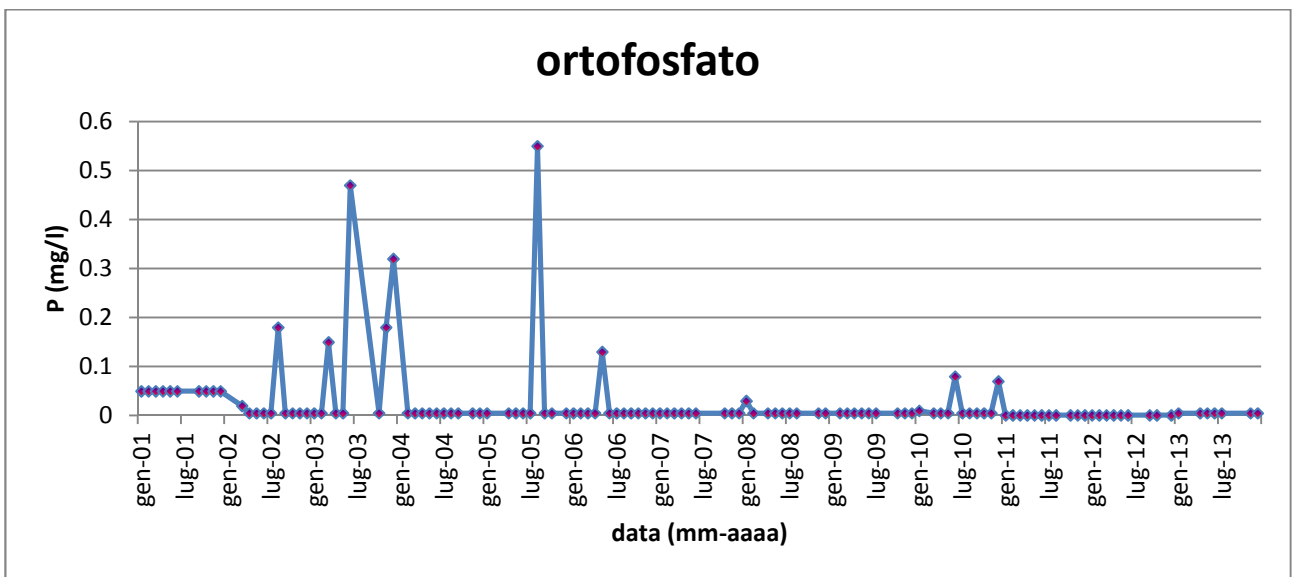


Figura 55 ortofosfato

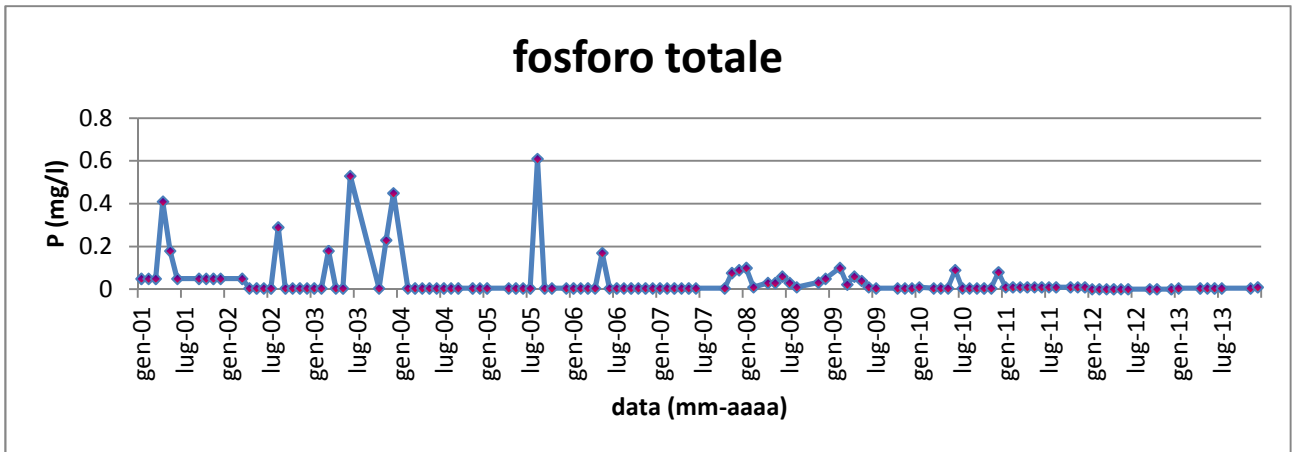


Figura 32 fosforo totale

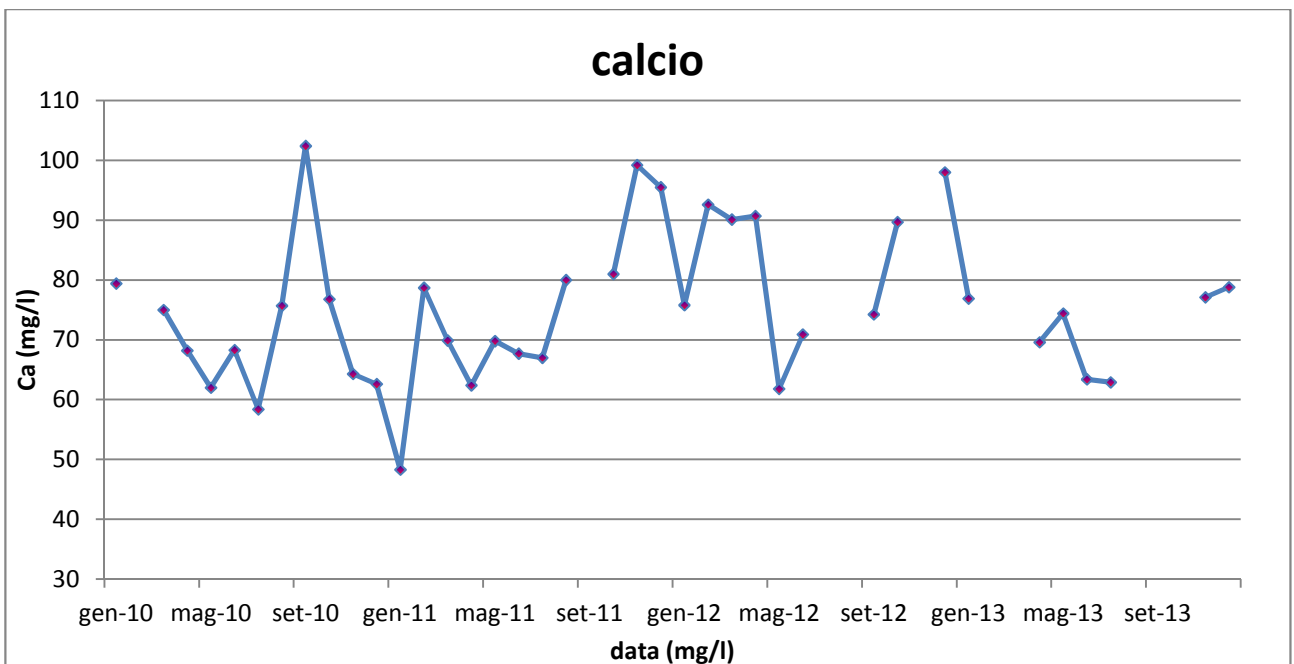


Figura 57 calcio



Figura 58 box plot ammoniaca

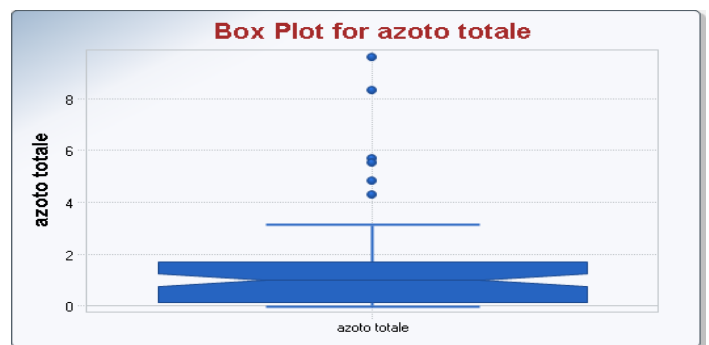


Figura 33 azoto totale

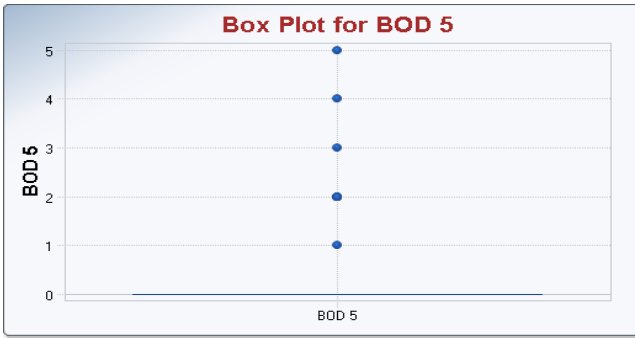


Figura 60 BOD5

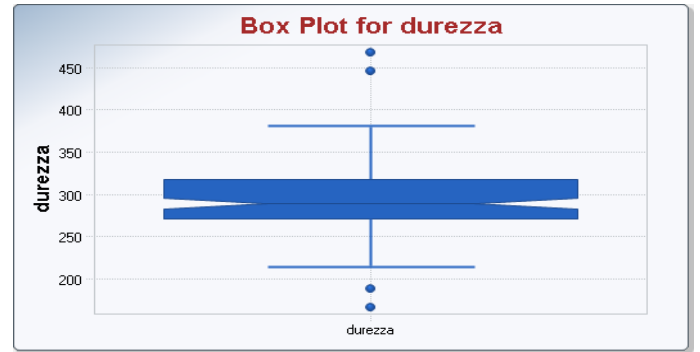


Figura 35 durezza

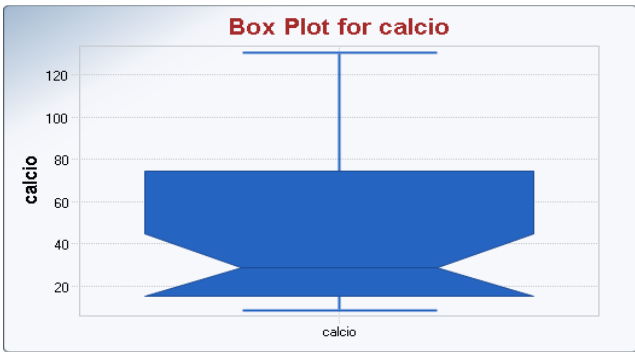


Figura 34 box plot calcio

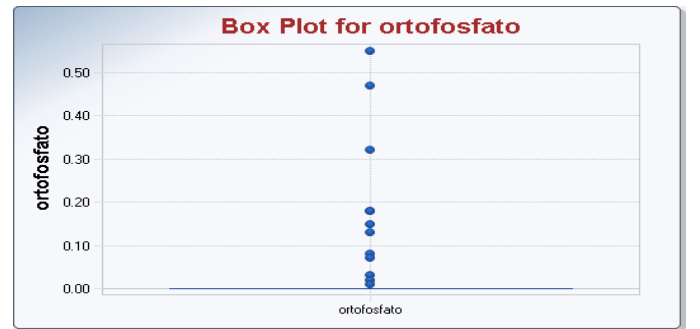


Figura 63 ortofosfato

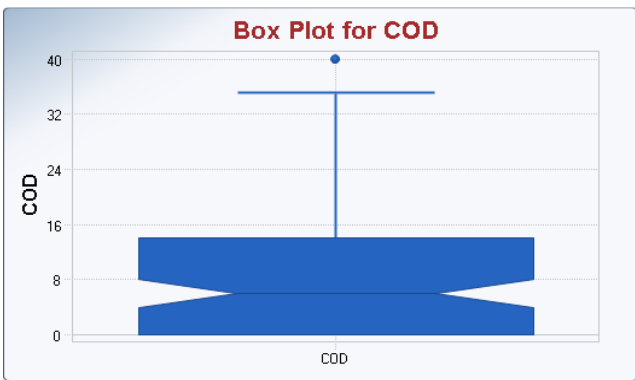


Figura 64 COD

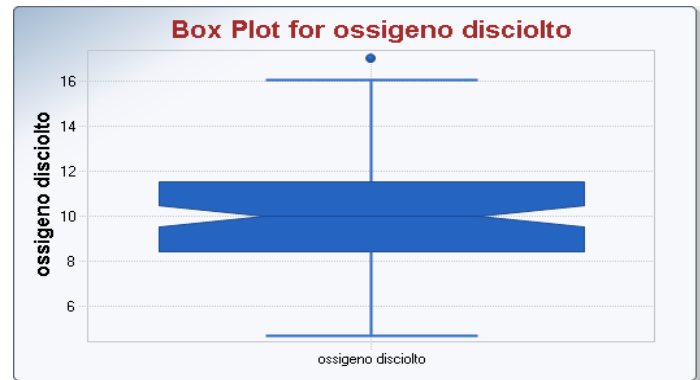


Figura 65 ossigeno disciolto

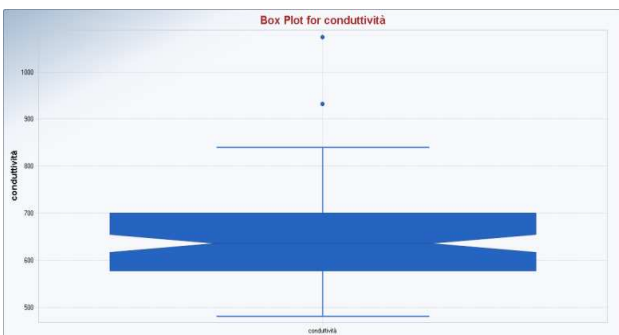


Figura 66 conduttività

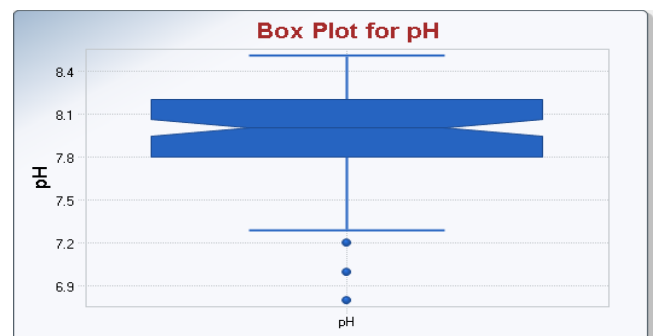


Figura 67 pH

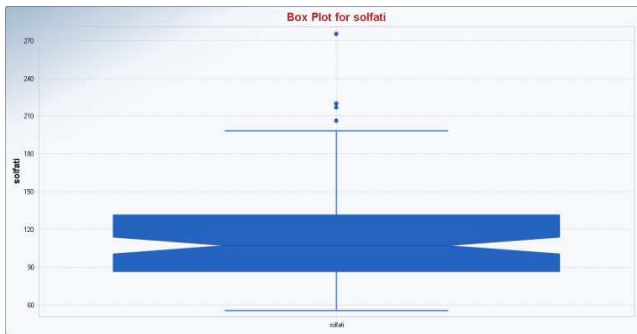


Figura68 solfati

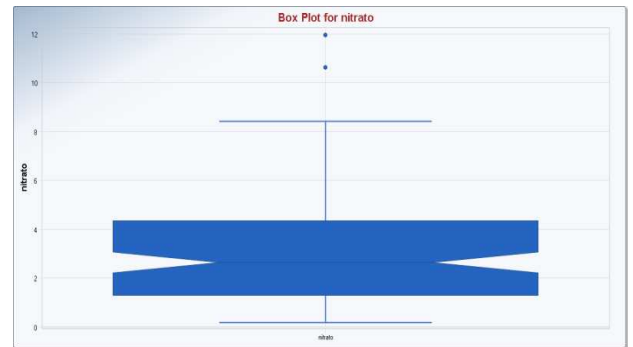


Figura 69 nitrati

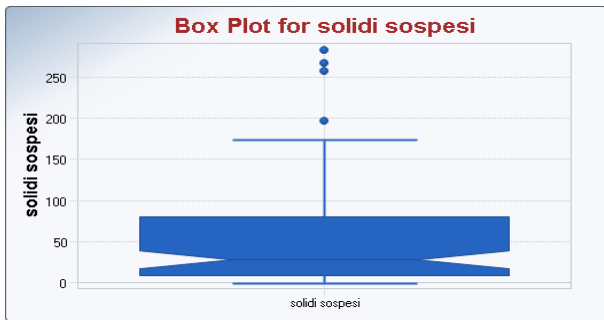


Figura 70 solidi sospesi



Figura 36 nitrito

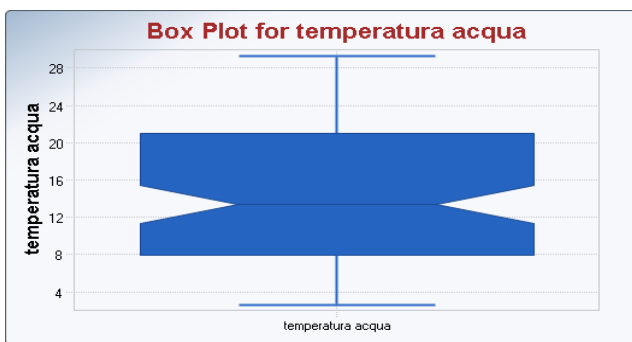


Figura 72 temperatura acqua

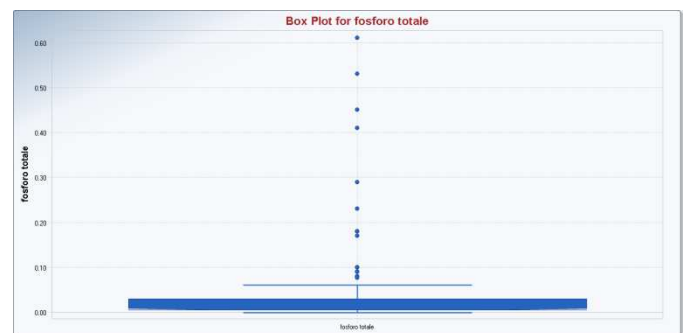


Figura 73 box plot fosforo totale

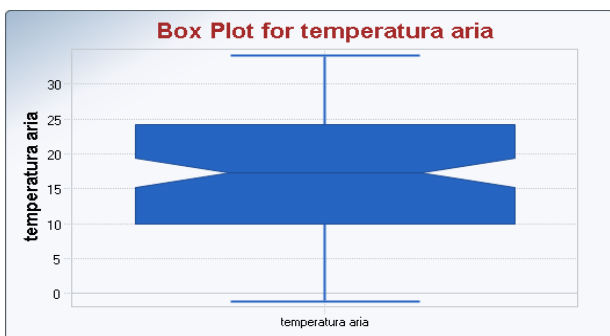


Figura 74 temperatura aria

Via Tonale: quarto punto di campionamento ARPA

**Tabella 57 TEMPERATURA ACQUA**

°C	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	7	6	7.2		3.2	3.9	9.5	6.5		4.1			
febbraio	8.5	9.2	3.9	6.95		2.4	7	2.4	4.3				
marzo	14.9	15.1	11.2	7.6		7.9	9.9		9.4		8.1	11.7	
aprile	13	14.1	14.7		12.4	11.9	17.5	11.7	12.4				10.25
maggio	17	20.2	21.4	15	17.55	14	20.3	19.2	12.9	16.8			17.1
giugno	22.9	26.5	25.5	20.7	21.7	22.3	23.9	19.7	20.8		24.3	20.2	20.2
luglio	25.8	24.9	26.0	23.2	26	23.1	23.9	23.4	23				21.9
agosto	25.5	24.4	27.2	24.7	21.9	24.7	22.8	26.2	24				
settembre	18	18.4	23.2	22.5	21.1	22.4	21.3	23.7	21.1	22.2	25.4	23.6	19
ottobre	20.2	14.9	18.9		18.6	20.1	17.8	18	20.1				
novembre	10.7	14.5	13.6	7.3		15.5	7.6	16.9	11.8	10.0	17.6		12.9
dicembre	8	11.8	8.5	5.2	2.3	12.2	4.4	6.6	4.8			7.8	6.9

**Tabella 58 temperatura aria**

°C	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	5.6	6.2	11.6		1.8	0.7	5.8	2.2		1.5			
febbraio	11.8	8.2	4.3	8.15		0.2	0	-1.5	3.2				
marzo	22.4	11.2	15.6	15.3		8.8	11.3		10.95		13.4	11.7	
aprile	21	18.5	18.2		16.25	10.5	15.1	10.5	14.2				15.2
maggio	21	21.2	24.3	14.95	18.65	16.7	20	17.5	15.2	21.2			23
giugno	25	28.2	31.5	19	20.9	26	26.6	21.5	22.5		34.5	20.2	24.3
luglio	32	24.6	25.5	27	28	25.3	26.4	22.2	25.5				29.1
agosto	29.1	24.2	28.5	24.3	20.3	24.6	19.8	27	26.2				
settembre	23	22.5	20.9	19.7	19.6	21	20.1	21	17.4	23.0	31.0	23.6	30.4
ottobre	26	18.9	18.6		15.2	20.9	12	14.9	16				
novembre	15	13.7	15.6	6.9		15.8	4.4	16	10.3	9.4	17.0		12.3
dicembre	4		11.4	5	2.2	14	6	6.5	2.5			7.8	8.1

**Tabella 59 pH**

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	8.1	7.95	8.23		6.4	7.1	6.1	8		7.8			
febbraio	8.1	8.04	8.23	8.11		6.3	6.6	8	6.4				
marzo	8.2	8.02	8.13	8.23		7.2	6		7.2		8.4	7.4	
aprile	8	8.3	7.97		7.7	7.2	6.8	7.85	7.4				7.95
maggio	8.1	8.23	8.20	8.075	7.55	6.4	7	7.8	7.6	7.2			7.9
giugno	7.5	8.46	7.93	7.77	7.6	7.7	7.9	8	7.6		7.9	7.6	8
luglio	7.8	8.04	7.85	7.9	7.8	7.7	7.9	8	7.6				7.7
agosto	7.4	7.66	7.77	7.9	7.9	6.9	7.7	8.1	7				
settembre	8.02	7.70	7.99	8.1	6.4	7.5	7.9	8.1	7.4	8.1	7.9	8	7.6
ottobre	8.04	8.11	7.95		7.9	7.3	7.6	8	7.1				
novembre	7.96	7.95	8.13	7.9		7.7	7	6.9	7.7	8.3	8.0		8.2
dicembre	7.9	8.9	8.14	8	6.8	7.9	8.2	7.5	6.7			8.3	7.9

**Tabella 60 solidi sospesi**

mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	23	92	69		5	79	12	42		7			
febbraio	67.5	5.3	106	38.75		7	16	11	56				
marzo	89	16.3	27	368		68	15		26		140	138	
aprile	131	73	2.5		65.5	9	19	40.5	55				115
maggio	146	22.5	6.5	64.5	17	31	64	14	10	43			57
giugno	15	12.0	13.5	20	15	44	15	73	36		45	51	31
luglio	4.3	9.5	19	55	34	27	17	38	18				24
agosto	0.5	23	2.5	77	68	25	42	32	27				
settembre	138	81	8.5	27	59	69	55	22	32	32	79	34	48
ottobre	49	171	7.5		22	57	70	38	25				
novembre	8	13.5	14.5	45		17	8	71	69	22	26		108
dicembre	8.2	119.0	5.5	73	158	16	32	59	46			121	13

**Tabella 61 conduttività**

µS/cm	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	652	890	832		778	694	1418	679		797			
febbraio	700	819	834	804.5		803	1117	787	787				
marzo	704	1022	724	551		689	852		723.5		685	822	
aprile	627	973	850		710.5	674	974	659.5	711				630
maggio	664	758	1045	749	837	664	1655	1158	710	674			680
giugno	1728	1330	1517	2800	1658	1334	2180	1100	1520		984	947	810
luglio	1825	2040	2217	2930	1784	1821	2513	2150	2044				1370
agosto	2030	2200	2479	1704	1118	2180	800	2130	1985				
settembre	1743	1706	2209	2177	2301	2164	2138	2090	2218	1766	1744	1861	1850
ottobre	9840	754	3570		1721	1822	1600	1988	1734				
novembre	1282	2090	1016	641		2073	1409	1310	970	700	2260		730
dicembre	2331	1109	849	590	678	2600	826	684	947			620	660

**Tabella 62 durezza**

CaCO3 mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	320	339	371		329	303	375	290		315			
febbraio	314	312	340	326.5		332	364	300	336				
marzo	293	357	328	307		303	303		282		276	354	
aprile	309	200	332		311	303	332	234	296				256
maggio	289	300	393	314	325	300	407	324	276	368			272
giugno	480	421	486	578	471	382	425	345	400		312	289	293
luglio	480	457	500	564	407	418	503	445	444				394
agosto	478	482	461	414	311	450	436	384	404				
settembre	440	453	471	475	468	425	471	396	500	436	383	408	408
ottobre	1403	371	603		428	464	328	400	387				
novembre	396	500	446	289		439	380	312	346	317	499		297
dicembre	628	357	382	303	296	586	308	275	368			320	302

**Tabella 63 azoto totale**

N mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	2.4	4.90	2		2.1	1.6				2.55			
febbraio	1.9	5.16	2.2	5.635		1.5							
marzo	2	4.60	3.0	1.4		0.85					5.0	3.22	
aprile	1.8	3.40	4.85		1.55	2.1							1.21
maggio	2.04	3.90	6.6	3.45	1.96	1.1				2.81			0.5
giugno	27.7	7.00	11.8	18.2	6.6	8.2					6.1	1.66	2.81
luglio	15.1	13.25	13.75	18.1	6.9	7.3							6.95
agosto	21.5	27.7	24.8	9.13	5.3	3.4							
settembre	9.6	7.10	10.6	15.1	19.2	6				9.1	12.4	8.33	6.24
ottobre	16.8	1.80	13.8		6.03	18.6							
novembre	9.9	7.00	4.50	1.74		8.06				2.9	7.0		1.84
dicembre	21.4	1.80	4.07	1.4	1.3	7.56						1.65	1.93

**Tabella 64 ammoniacale**

NH <sub>3</sub> mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	0.408	0.03	0.012		0.012	0.012	1.68	0.216		0.936			
febbraio	0.03	0.03	0.72	2.016		0.012	0.012	0.108	0.492				
marzo	0.03	0.03	2.376	0.012		0.012	1.344		0.33		0.012	0.396	
aprile	0.03	0.012	1.38		0.012	0.012	0.012	0.084	0.048				0.198
maggio	0.03	0.012	1.644	0.012	0.096	0.012	0.012	6.012	0.132	0.492			
giugno	19.44	5.04	5.544	6.72	0.012	2.16	2.832	0.096	0.192		0.012	0.12	0.552
luglio	3.924	11.76	6.72	10.248	1.848	0.684	1.44	0.588	0.672				0.852
agosto	8.388	16.8	15	0.012	0.012	3.24	0.324	0.396	0.336				
settembre	0.03	0.012	0.456	0.012	0.012	2.424	1.38	0.252	1.236	0.552	0.78	0.54	0.504
ottobre	0.03	0.012	0.012		0.012	1.08	0.012	0.252	0.6				
novembre	0.03	0.012	1.596	0.012		1.2	1.092	0.252	0.096	0.012	0.012		0.108
dicembre	3.36	0.012	0.012	0.012	0.012	1.392	0.18	0.084	0.756				0.648

**Tabella 65 Nitrati**

NO3 mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	8.84	21.216	8.398		9.282	7.072	11.934	4.862		7.072			
febbraio	7.956	22.1	6.188	9.724		6.63	15.028	7.514	9.282				
marzo	8.84	19.89	4.42	6.188		3.757	7.956		6.63		3.536	5.746	
aprile	7.956	13.26	15.47		4.862	9.282	10.166	3.978	4.862				3.757
maggio	8.84	13.26	20.774	14.144	7.514	4.862	38.454	16.796	4.862	4.99			3.536
giugno	46.41	4.42	28.73	47.294	28.73	26.962	34.476	3.978	9.282		12.376	4.42	8.398
luglio	44.2	4.42	29.172	36.244	22.542	29.835	48.62	38.454	12.818				24.752
agosto	53.482	53.04	47.736	38.012	22.984	0.442	111.826	34.034	33.592				
settembre	41.106	30.498	38.896	66.3	83.98	16.354	35.36	25.194	14.144	22.1	26.962	31.382	22.1
ottobre	72.93	7.956	57.018		26.52	77.792	38.012	26.962	17.238				
novembre	42.432	30.056	13.26	7.514		30.94	8.84	10.608	10.166	3.094	22.1		6.63
dicembre	68.952	7.956	17.68	6.188	5.746	32.708	5.746	5.304	11.492			5.304	6.63

**Tabella 66 nitriti**

NO2 mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
gennaio	0.0939	0.4382	0.313		0.01565	0.01565	0.4069	0.0939	
febbraio	0.1878	0.5008	0.5321	0.273875		0.01565	0.01565	0.01565	0.1252
marzo	0.0313	0.4695	0.11581	0.01565		0.01565	0.2504		0.07825
aprile	0.0313	0.5947	0.626		0.01565	0.01565	0.3443	0.054775	0.0313
maggio	0.1252	0.2504	1.7528	0.6886	0.054775	0.01565	0.313	1.0329	0.0626
giugno	2.5666	4.2255	2.191	5.8531	0.4382	0.7199	1.4398	0.0313	0.1565
luglio	5.2584	7.6685	4.8515	4.1316	0.8764	0.01565	0.01565	0.3443	0.3756
agosto	6.9799	5.321	4.8515	1.7215	0.2191	2.191	13.772	0.5634	0.313
settembre	0.4069	0.5634	4.2255	0.2817	0.4069	0.8764	0.7825	0.626	1.2833
ottobre	0.4069	0.01565	2.7231		0.0939	0.4382	0.4695	0.2817	0.3443
novembre	0.2817	0.1565	0.8138			0.1878	0.1565	0.1565	0.01565
dicembre	8.764	0.01565	0.2191	0.01565	0.01565	0.01565	0.0626	0.01565	0.19719

**Tabella 67 ossigeno disciolto**

O2 mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	11.3	11.4	10.4		10.2	12.9	9.6	13.2		13.0			
febbraio	10.8	10.6	15.1	9.65		12.8	11.1	13.5	12.2				
marzo	10.5	10.1	10.8	11.7		11.2	9.7		10.25		13.0	13	
aprile	9.9	10.4	9.6		9.7	9	6.8	9	8.8				11.3
maggio	9.5	9.2	9.4	7.5	7.5	9	5.5	3.2	8	11.0			9.7
giugno	7.3	12.2	7.4	5.1	6.2	5.7	5.5	6.8	5		9.0	9.4	9.5
luglio	8.6	6.7	7.1	5.2	4.9	4	5.1	4.1	3				7.6
agosto	6.4	5.2	6.3	4.7	6.3	4.7	4.6	3.7	3.4				
settembre	9.11	10.4	6.8	5.7	4.5	4.3	4.1	4	3.8	7.0	8.0	7.9	7.2
ottobre	8	11.6	8.2		7	6	5.1	4.3	5.2				
novembre	12	10.1	10.1	10.9		7.7	10.5	6.5	9.2	16.0	8.0		10.4
dicembre	1.8	12.1	12	9.6	14.6	7.9	16.4	11.4	12.8			13	12.6

**Tabella 68 BOD5**

O2 mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	1	1	10		1	1	1	4		1			
febbraio	1	1	4	1.5		3	1	1	4				
marzo	1	1	2	1		1	3		3		2	3	
aprile	0.5	1	1		1.5	1	2	1	2				1.5
maggio	1	1	1	1.5	1.5	1	4	5	2	2			1
giugno	3	7	3	6	4	2	3	2	1		1	3	2
luglio	2	2	4	1	5	2	3	2	3				4
agosto	3	7	3	2	2	1	6	2	5				
settembre	0.5	9	2	2	1	5	4	4	6	5	7	3	3
ottobre	3	2	1		1	1	3	2	4				
novembre	1	3	1	1		1	5	1	1	1	1		1
dicembre	2	2	2	1	1	3	7	1	1			1	1

Tabella 69 COD

O2 mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	11	5	44		43	9	27	5		2			
febbraio	23	16	19	6.5		6	11	10	15				
marzo	16	27	8	2		15	23		2.5		6	5	
aprile	13	2	23		21	17	22	6	6				4.5
maggio	34	2	25	28	7	41	25	28	7	11			2
giugno	48	28	30	38	63	29	40	8	13		9	6	7
luglio	45	41	36	38	67	17	21	19	23				19
agosto	23	27	21	15	12	63	24	27	27				
settembre	8	35	34	35	54	22	36	28	34	15	38	32	17
ottobre	15	12	20		13	16	35	25	28				
novembre	19	21	20	2		35	12	15	13	5	50		5
dicembre	23	73	19	17	18	34	8	2	11			4	5

Tabella 70 ortofosfato

P mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	0.05	0.005	0.005		0.005	0.005	0.005	0.005		0.07			
febbraio	0.05	0.005	0.005	0.3		0.005	0.005	0.02	0.04				
marzo	0.05	0.005	0.005	0.005		0.005	0.005		0.015		0.01	0.04	
aprile	0.05	0.005	0.005		0.005	0.005	0.005	0.0275	0.03				0.015
maggio	0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.65	0.04	0.07			0.03
giugno	0.9	0.3	0.72	0.15	0.45	0.005	0.18	0.09	0.13		0.26	0.03	0.04
luglio	0.9	0.5	0.005	0.35	0.35	0.005	0.4	0.1	0.31				0.07
agosto	1	0.45	0.99	0.005	0.005	0.95	0.005	0.41	0.17				
settembre	0.23	0.15	0.1	0.14	0.3	0.005	0.005	0.27	0.25	0.56	0.43	0.91	0.32
ottobre	0.32	0.005	0.005		0.005	0.005	0.07	0.39	0.17				
novembre	0.05	0.005	0.27	0.1		0.005	0.1	0.12	0.07	0.05	0.19		0.12
dicembre	0.05	0.005	0.005	0.005	0.07	0.07	0.02	0.005	0.21			0.01	0.03

Tabella 71 fosforo totale

P mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	0.05	0.005	0.005			0.005	0.005	0.09		0.08			
febbraio	0.05	0.05	0.005	0.41		0.005	0.005	0.05	0.18				
marzo	0.24	0.1	0.005	0.005		0.005	0.005		0.03		0.01	0.05	
aprile	0.25	0.005	0.005			0.005	0.005	0.085	0.11				0.02
maggio	0.15	0.005	0.005	0.005		0.005	0.005	0.92	0.06	0.09			0.03
giugno	1.3	0.48	0.8	0.2	0.8	0.005	0.25	0.23	0.18		0.32	0.04	0.08
luglio	1.4	0.9	0.005	0.4	0.48	0.005	0.46	0.31	0.5				0.15
agosto	1.1	0.5	1.3	0.005	0.005	1	0.005	0.64	0.35				
settembre	0.36	0.25	0.12	0.19	0.36	0.005	0.005	0.44	0.3	0.6	0.46	0.99	0.32
ottobre	0.74	0.005	0.005		0.005	0.005	0.07	0.65	0.19				
novembre	0.05	0.005	0.32	0.13		0.005	0.17	0.28	0.08	0.05	0.24		0.14
dicembre	0.05	0.005	0.005	0.005	0.1	0.09	0.16	0.07	0.23			0.01	0.05

Tabella 72 cloruri

Cl mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	29	118	45		45	32	131	32		43			
febbraio	31	84	88	49.5		53	150	46	36				
marzo	63	167	35	22		32	96		34.5			30	
aprile	29	141	81		53.5	97	123	33	32				15
maggio	47	497	132	85.5	75	54	369	150	38	46			30
giugno	318	183	374	780	335	188	585	44	218		154.0	60	72
luglio	340	477	643	99	387	307	658	382	375				198
agosto	497	474	522	370	130	456	547	384	303				
settembre	428	377	558	496	528	455	545	367	393	272	515.0	359	310
ottobre	3304	42	1028		370	427	350	322	277				
novembre	213	603	104	32		479	206	237	94	38	580.0		70
dicembre	567	197	72	106	27	681	53	14	105			21	35



Tabella 73 solfati

SO4 mg/l	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
gennaio	103	1	111		116	90	89	115		96			
febbraio	66	121	101	85.5		106	114	109	95				
marzo	90	130	87	67		83	125		95.5		66.0	85	
aprile	77	125	120		90	100	138	87.5	91				82
maggio	145	164	123	103.5	114	123	153	121	94	129			94
giugno	140	92	148	217	172	142	144	90	140		123.0	100	97
luglio	136	144	167	200	150	127	134	118	118				122
agosto	138	148	144	136	124	124	116	120	100				
settembre	170	178	153	212	134	130	149	110	109	110	104.0	122	108
ottobre	623	106	196		168	140	139	112	115				
novembre	155	193	154	65		153	163	117	134	82	152.0		97
dicembre	181	95	151	88	92	184	125	83	135			74	94

Tabella 74 calcio

Ca mg/l	2010	2011	2012	2013
gennaio	91.5			
febbraio				
marzo		81.9	354	
aprile				74.6
maggio	71.8			77.8
giugno		92.3	289	77.5
luglio				110.3
agosto				
settembre	117.8	109.9	408	123
ottobre				
novembre	80.6	128.2		83.4
dicembre			320	86.7

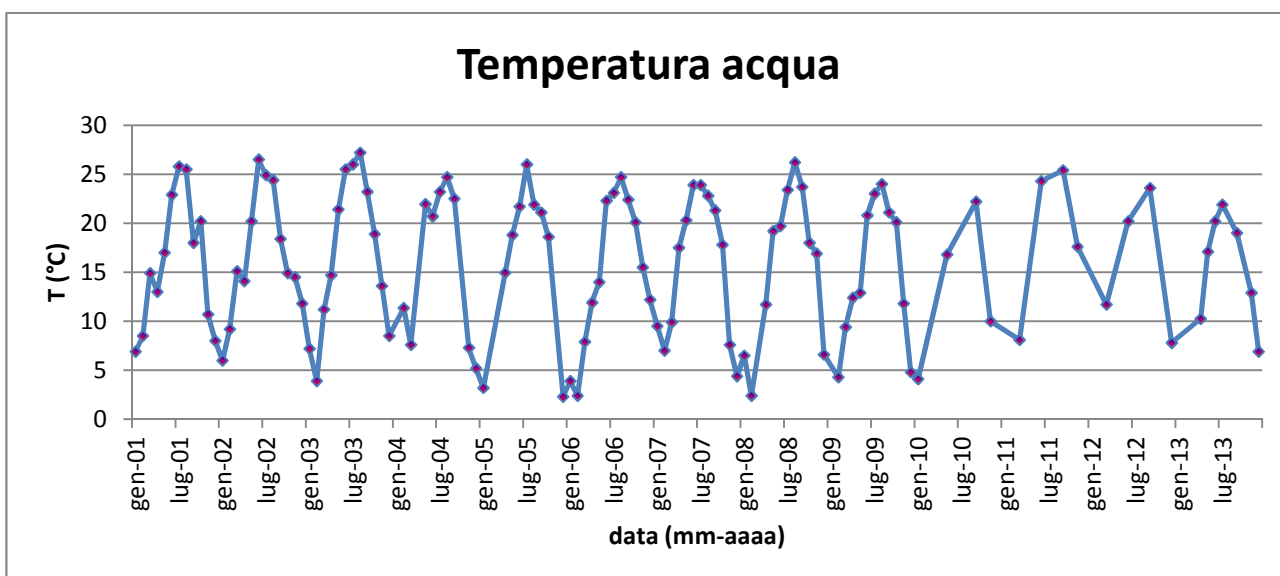


Figura 75 temperatura acqua

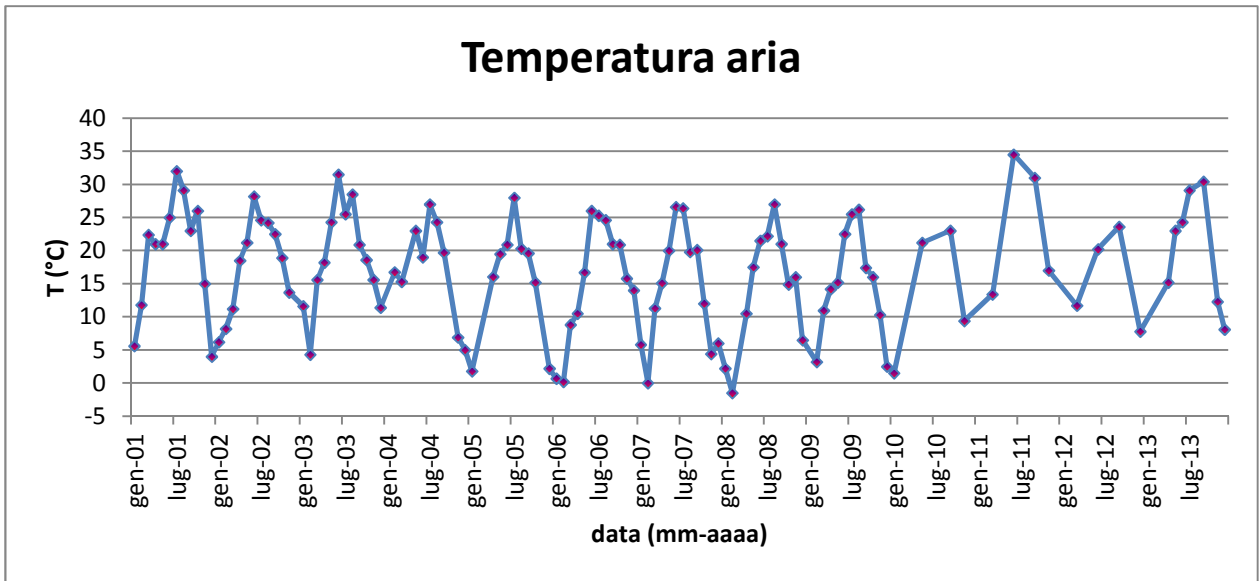


Figura 76 temperatura aria

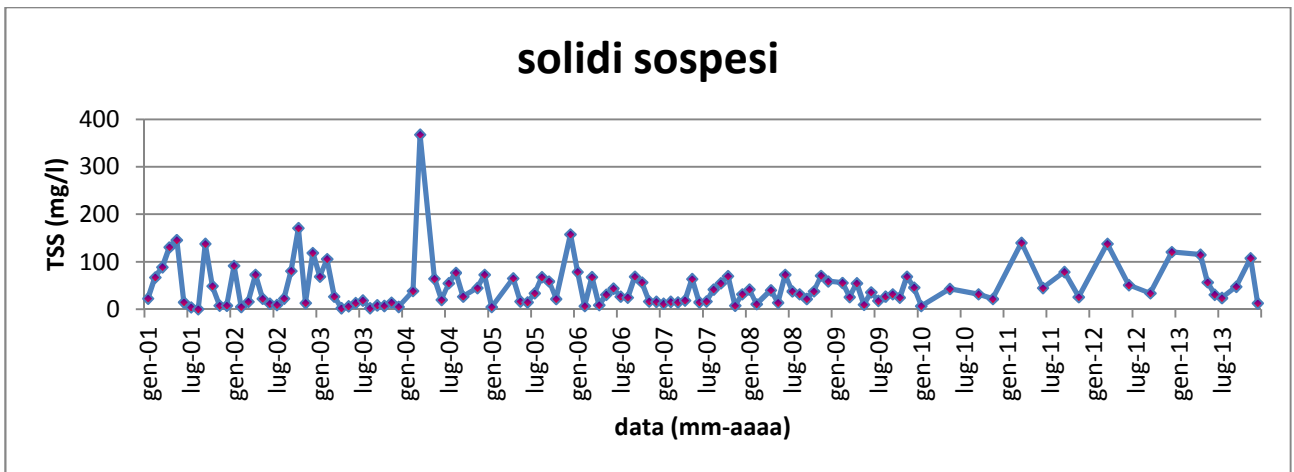


Figura 77 solidi sospesi

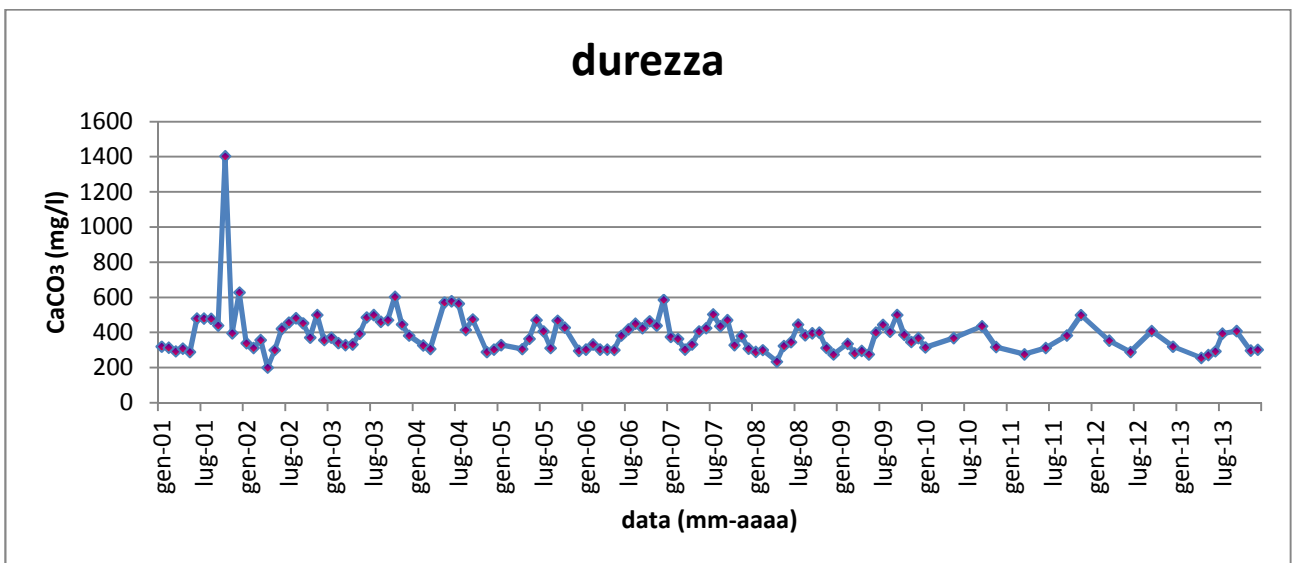


Figura 78 durezza

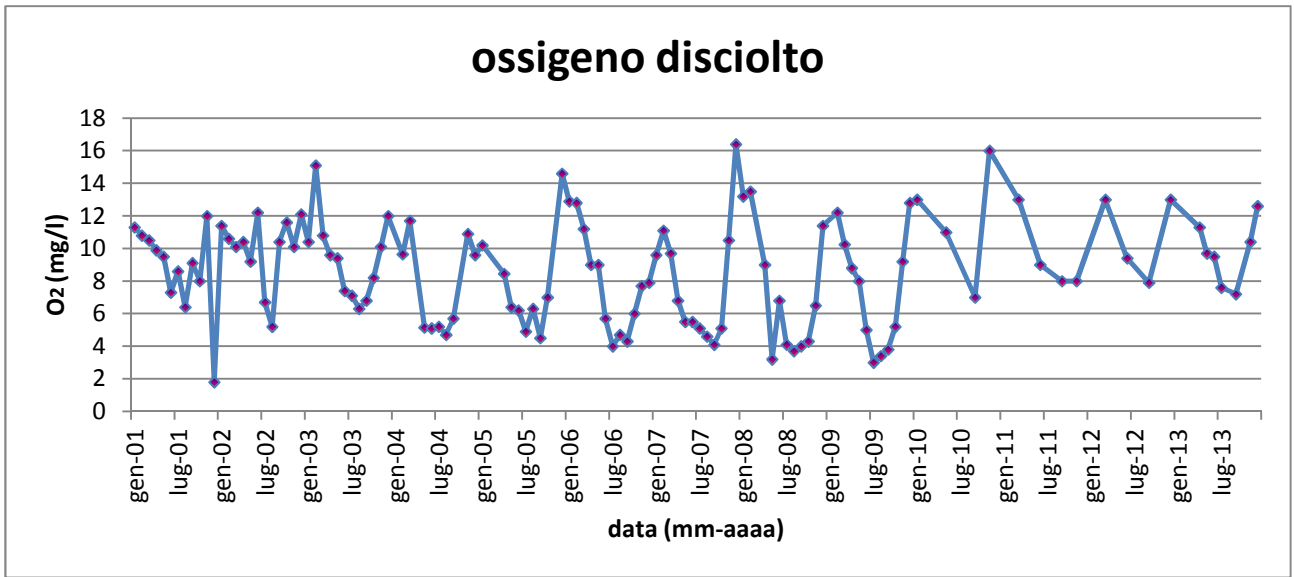


Figura 37 ossigeno disciolto

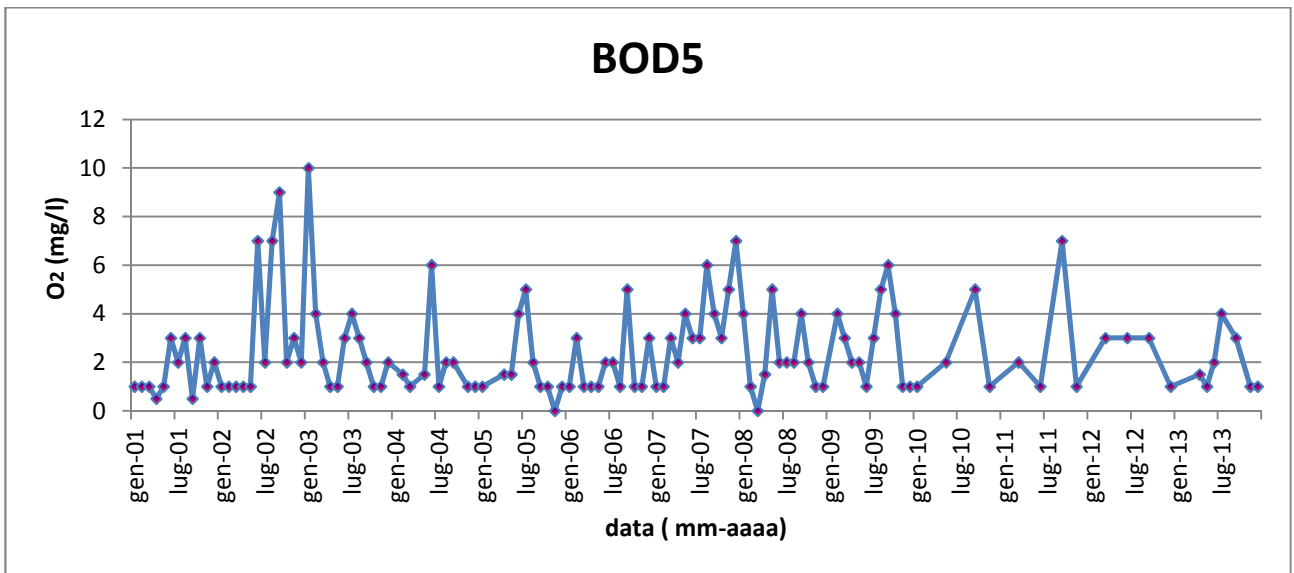


Figura 80 BOD5

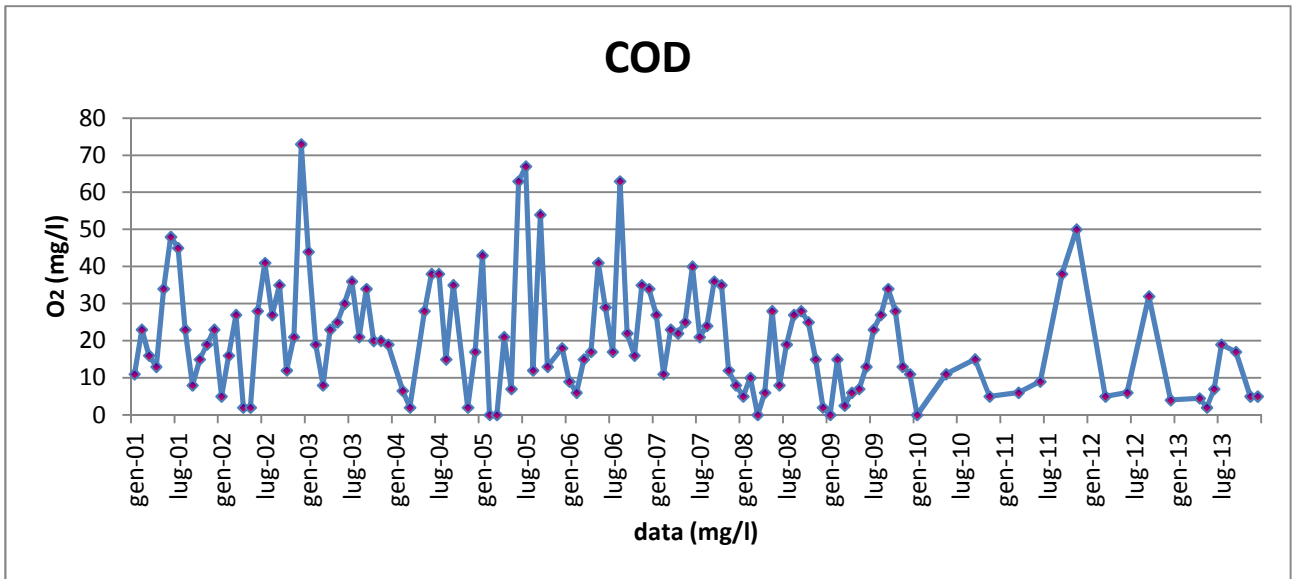


Figura 81 COD

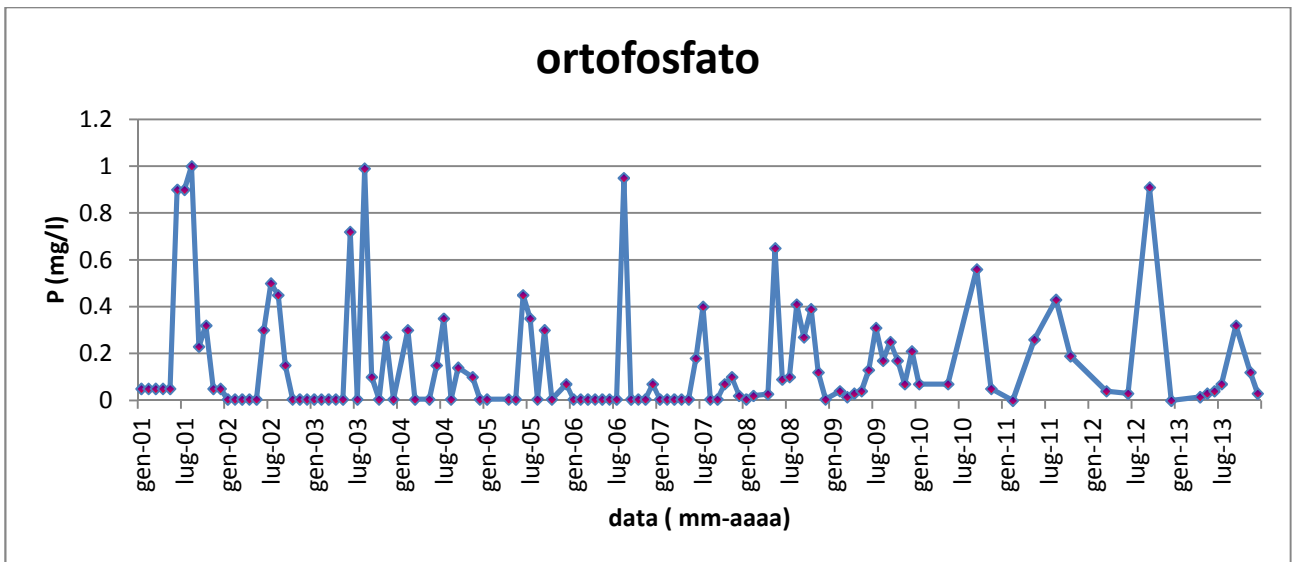


Figura 82 ortofosfato

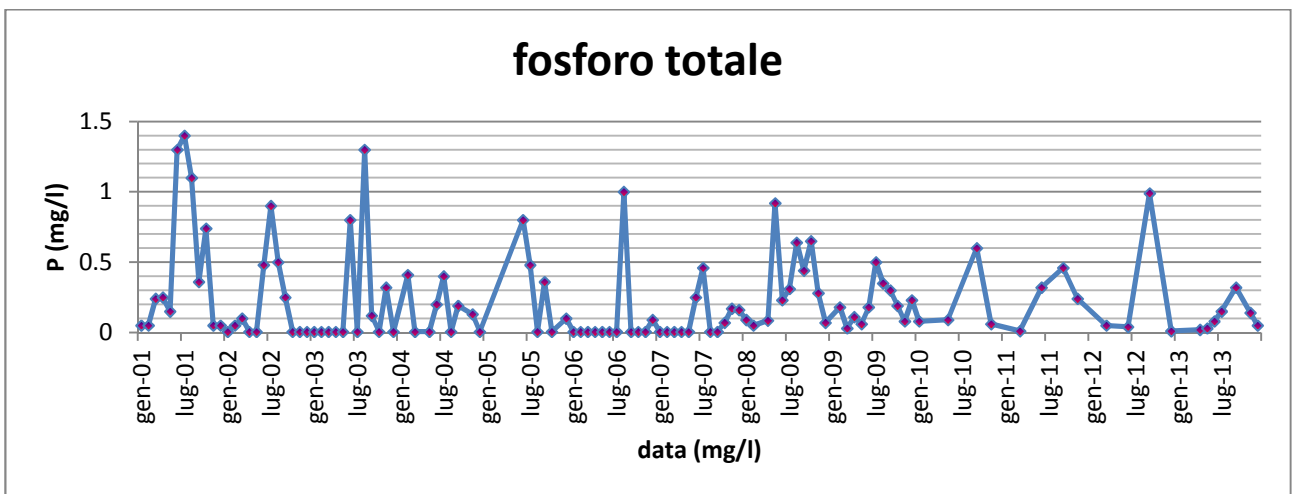


Figura 83 fosforo totale

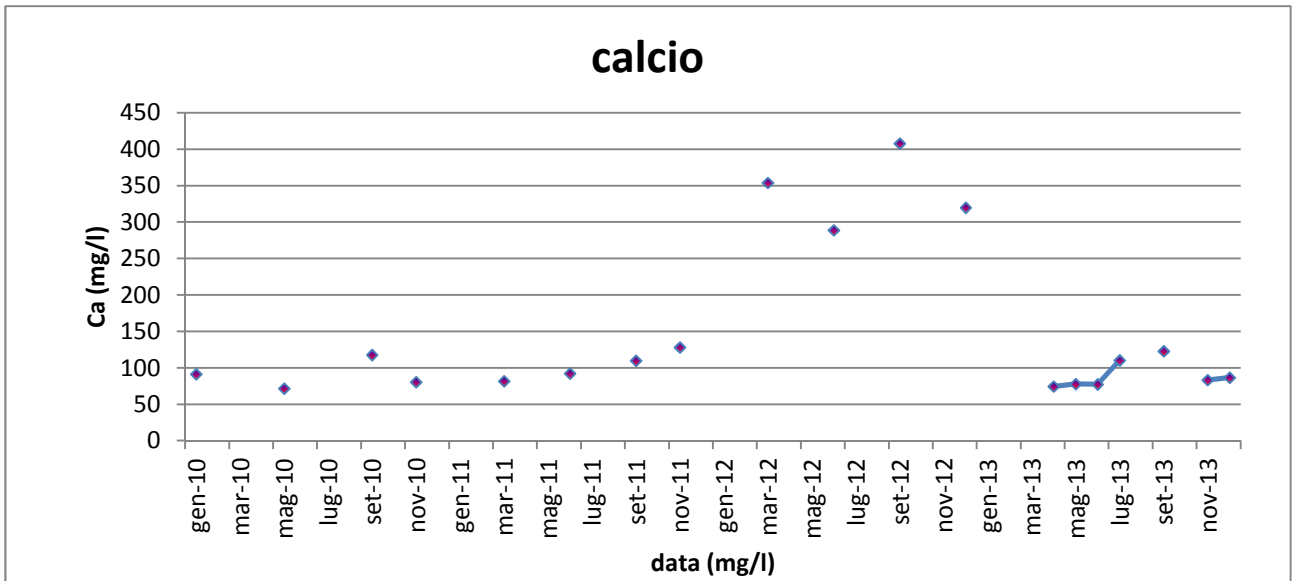


Figura 84 calcio

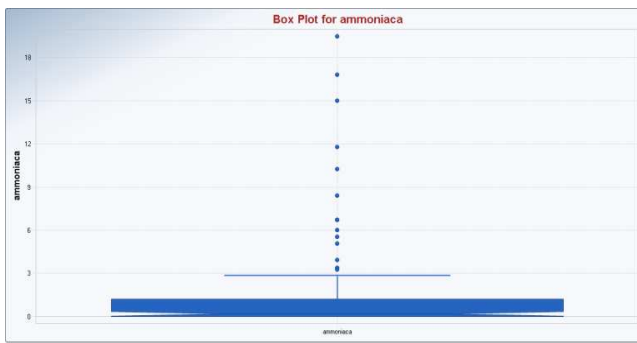


Figura 85 ammoniaca



Figura 86 solfati

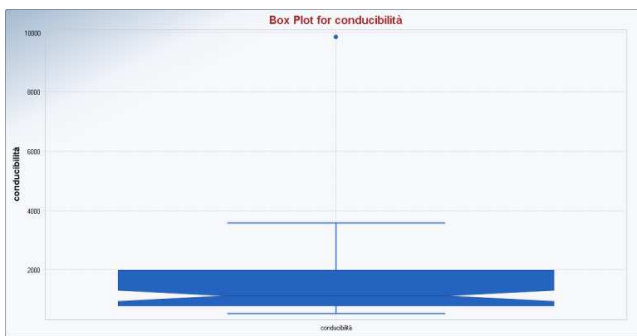


Figura 87 conducibilità

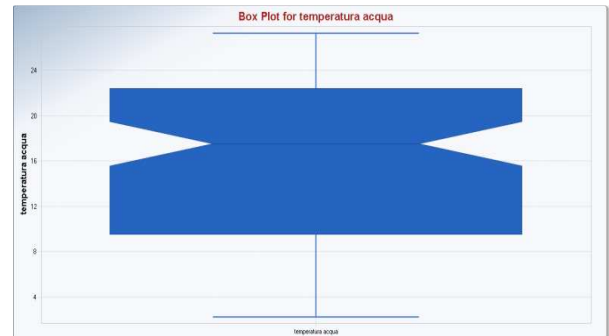


Figura 38 temperatura acqua

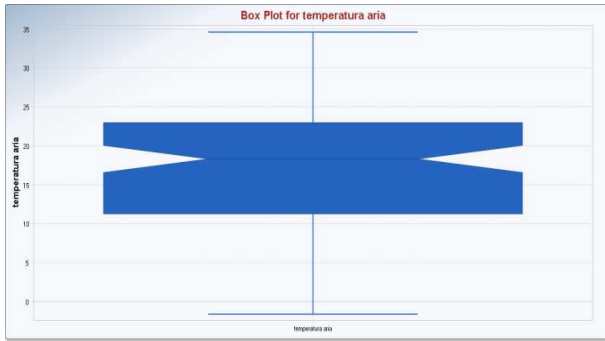


Figura 89 temperatura aria

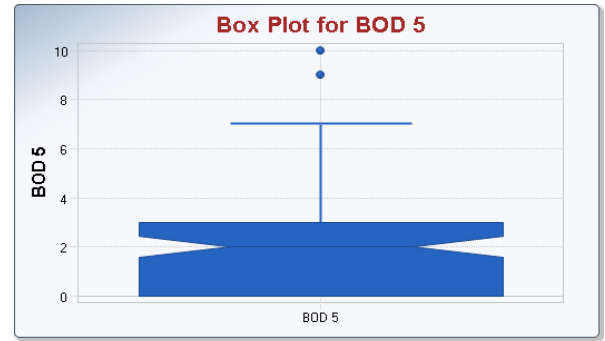


Figura 90 BOD5

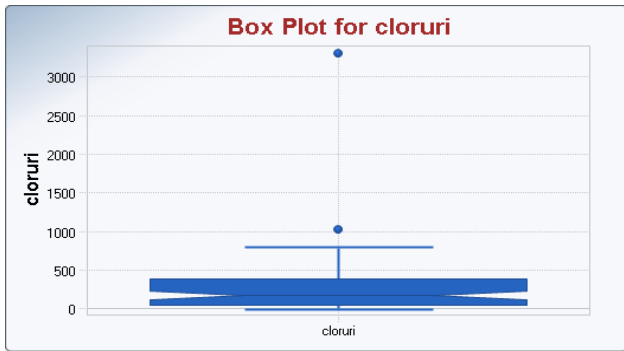


Figura 91 box plot cloruri

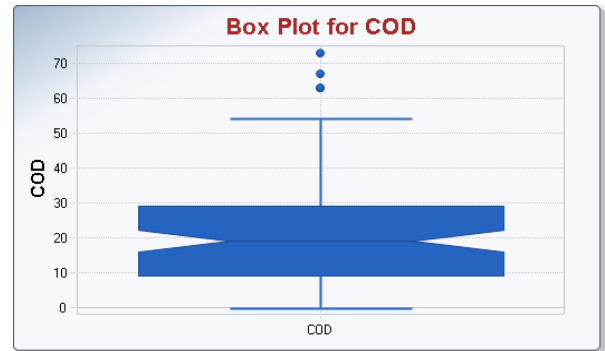


Figura 92 COD



Figura 93 solidi sospesi

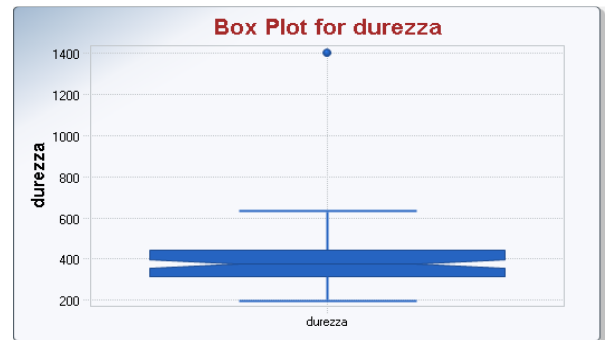


Figura 94 durezza

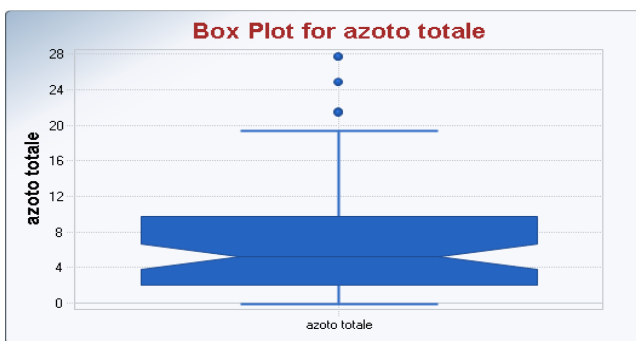


Figura 39 azoto totale

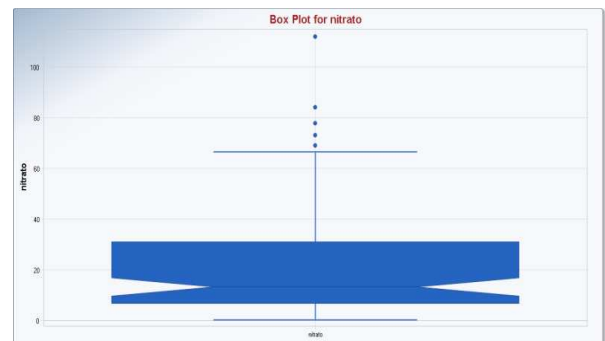


Figura 96 nitrati







Tabella 80 RN 33-01

	Alluminio mg/L	Argento μg/L	Alcalinità totale mg/L	Arsenico mg/L	Calcio mg/L	Cloruri mg/L	Conduttività μS/cm	Cromo VI mg/L	Durezza mg/L	Ferro mg/L	Fluoruri mg/L	IONE AM mg/L	Magnesio mg/L	Manganese mg/L	Nitrati mg/L	Nitriti mg/L	Ossidabi mg/L	Piombo mg/L	Potassio mg/L	Rame mg/L	Sodio mg/L	Solfati mg/L	TEMPER °C	Zinco mg/L	
05/09/2002	0.05	0.005	366	0.001		35	796	0.0025	0.0025	464	0.01	0.05	0.01	24	0.0025	30	0.005	0.3	0.0025	4	0.001	37	130	15.4	0.088
28/10/2002	0.05	0.005	403	0.001	156	39	860	0.0025	0.0025	490	0.56	0.5	0.01	25	0.0025	46	0.005	0.5	0.0025	5	0.0025	45	148	15.9	0.005
27/05/2003	0.05	0.005	409	0.001	140	28	894	0.0025	0.0025	470	0.01	0.4	0.01	21	0.0025	54	0.015	0.5	0.0025	3	0.0025	39	123	16.2	0.012
19/11/2003	0.05	0.005	440	0.001	147	24	900	0.0025	0.0025	446	0.01	0.025	0.01	19	0.0025	32	0.015	3.5	0.0025	3	0.0025	35	110	14.8	0.005
28/06/2004	0.05	0.005	384	0.001	132	30	832	0.0025	0.0025	436	0.01	0.7	0.01	23	0.0025	31	0.015	1.1	0.0025	5	0.0025	40	115	16.4	0.01
19/10/2004	0.05	0.005	450	0.001	140	27	862	0.0025	0.0025	418	0.01	0.2	0.01	22	0.0025	28	0.015	0.75	0.0025	4	0.0025	42	115	16.8	0.005
08/03/2005			394	0.0005	131	34	947	0.001	0.0025	439	0.005	0.3	0.01	22	0.0025	39.5	0.005	0.9	0.001	4	0.0025	39	124	13.4	0.005
27/03/2005			390	0.0005	140	34	954	0.001	0.0025	446	0.005	0.1	0.01	23	0.0025	37	0.005	0.4	0.001	4	0.0025	40	120	15.4	0.005
28/03/2006			360	0.0005	135	29	972	0.001	0.0025	453	0.005	0.75	0.01	28	0.0025	45	0.005	2.5	0.001	3.8	0.0025	35	122	14.8	0.022
20/09/2006			328	0.0005	110	31	929	0.001	0.0025	436	0.01	0.025	0.01	20	0.0025	36	0.005	0.6	0.001	4.2	0.0025	48	117	15.5	0.005
21/03/2007			390	0.0005	158	39	908	0.001	0.0025	428	0.005	0.6	0.01	21	0.0025	38	0.005	0.4	0.001	3.6	0.0025	40	120	14.7	0.005
10/09/2007			396	0.0005	102	59	1200	0.001	0	457	0.005	0.025	0.01	23	0.0025	45	0.005	0.75	0.001	4	0.0025	50	154	15.5	0.005
19/03/2008			390	0.0005	131.6	34	950	0.001	0.0025	426	0.01	0.147	0.01	23.56	0.0025	41	0.015	0.5	0.001	3.77	0.0025	37.15	130	14.9	0.031
10/09/2008			366	0.0005	132	32	956	0.001	0.0025	421	0.064	0.173	0.01	22	0.007	34	0.05	0.9	0.001	3.96	0.0025	37	120	15.3	0.041
30/03/2009			0.0005		139.2	35	950	0.001	0.0025	446	0.01			24	0.0025			0.4	0.001	4.46	0.0025	42.22	125	16	0.04
08/09/2009			0.0005		92.7	34.2	978	0.001	0.0025	447	0.01	0.157	0.01	25	0.0025			0.3	0.001	3.9	0.0025	42.6	119.2	15.5	0.005

Tabella 81 RN 34-00

	Cromo VI mg/L	Alluminio mg/L	Argento μg/L	Alcalinità totale mg/L	Arsenico mg/L	Calcio mg/L	Cloruri mg/L	Conduttività μS/cm	Cromo VI mg/L	Durezza mg/L	Ferro mg/L	Fluoruri mg/L	IONE AMPIO mg/L	Magnesio mg/L	Manganese mg/L	Nitrati mg/L	Nitriti mg/L	Ossidabi mg/L	Piombo mg/L	Potassio mg/L	Rame mg/L	Sodio mg/L	Solfati mg/L	TEMPER °C	Zinco mg/L		
20/11/1997		445		144	76	970						0.025	24	0.01			9	0.015	0.9		2.4		52	98		0.005	
27/10/1998		390		165.5	73	940						0.025	23.2	0.02			15.2	0.015	0.5		2.5		52	109.8		14.8	
19/04/1999		473		147	72.7	950					0.1		0.025	4	0.02	12.4	0.015	0.8		5.2		53	114		14.5		
04/10/1999		400		147	72.7	950					0.025	0.05	0.025	20	0.025	10.4	0.015	0.7	0.0025	3.4	0.005	54	90.8		15.1	0.025	
14/04/1999		390		134	60.9	850					0.05	0.025	0.15	0	23.9	0	16.7	0	0.8	0	4	0.007	41	85.7		14.9	
25/09/1999		385		143.8	73	967					0.1	0.05	0.025	22	0.01	13.3	0.015	0.7	0.0025	3.5	0.0025	34	102.7		15	0.02	
11/06/1999		390		140	76	957					0.076	0.2	0.025	27	0.02		9	0.015	0.8	0.0025	2.6	0.0025	27	82		15	0.02
17/09/1999		395		144	73	935					0.061	0.11	0.025	23	0.02		4	0.015	0.8	0.0025	2.5	0.0025	54	75		15.1	
24/03/1999		385		147	56	974					0.051	0.12	0.025	22.4	0.01		11	0.015	0.8	0.0025	2.4	0.0025	49.4	69		15.2	
04/06/1999		390		142	68	993					0.04	0.12	0.025	19.5	0.01		21	0.015	0.8	0.0025	2.6	0.0025	57	82		15.3	
07/12/1999		400		157	70	983					0.055	0.1	0.025	19.5	0.01		20	0.015	0.8	0.0025	2.7	0.0025	56.3	74		15.3	
20/05/1999		400		154	71	985					0.025	0.14	0.025	23.8	0.01		24	0.015	0.8	0.0025	2.8	0.0025	52.5	89		14.9	
02/10/1999		390		151	73	989					0.025	0.11	0.025	25.3	0.01		23	0.015	0.8	0.0025	2.9	0.0025	60.4	102		15.2	
13/10/1999		395		167	71	1025					0.025	0.15	0.025	22	0.031		33	0.015	0.8	0.0025	3	0.0025	55			14.9	
12/04/1999		400		164	70	995					0.025	0.22	0.025	20.9	0.01		25	0.015	0.9	0.0025	2.8	0.0025	63	92		14.9	
16/10/1999		405		154	70	1019					0.025	0.17	0.025	27	0.01		25	0.015	0.8	0.0025	1.8	0.0025	46	104		15.9	
11/04/1997		390		117	64	1004					0.22	0.025	0.24	0.01			20	0.015	0.7	0.0025	1.5	0.0025	54	97		14.8	
10/10/1997		385		149	65	968					0.268	0.5	0.025	21	0.01		27	0.015	0.7	0.0025	2.4	0.0025	55	94		15.1	
14/04/1998		395		128	71	983					0.025	0.05	0.025	20	0.01		25	0.015	0.7	0.0025	2.8	0.022	53	119		15.9	
12/04/1999		400		170	78	1014					0.7	0.2	0.025	21.4	0.01		31	0.015	1	0.0025	3	0.0025	57	111		15.3	
05/10/1999		150		59	2.5	0					0.025	0.2	0.025	23	0.01		21	0.015	0.4	0.0025	3	0.0025	57	108		15.5	
10/04/2000		175		63	105	0.0025	593				0.025	0.025	0.025	28	0.01		31	0.015	0.2	0.0025	0.0025	52	112		15.2		
03/10/2000		150		62	105	0.0025	514				0.025	0.05	0.025	29	0.01		32	0.015	0.4	0.0025	0.0025	58	116		15.4		
03/04/2001		144		62	1070	0.0025	524				0.025	0	0.025	29	0.01		23	0.015	0.5	0.0025	2	0.0025	49	112		15.3	
25/09/2001		164		69	1052	0.0025	527				0.025	0.3	0.025	29	0.01		34	0.015	0.4	0.0025	3	0.0025	58	117		15.5	
21/08/2002	0.0025	0.05	0.005	470	0.001	170	134	1150	0.0025	534	0.01	0.05	0.01	31	0.012	24	0.005	0.4	0.0025	3	0.005	79	116		0.01		
22/10/2002	0.0025	0.05	0.005	494	0.0023	162	115	1044	0.0025	543	0.01	0.05	0.01	30	0.006	23	0.005	0.6	0.0025	3	0.0025	75	113		15.7		
19/05/2003	0.0025	0.05	0.005	482	0.001	180	76	1125	0.0025	532	0.01	0.025	0.01	25	0.0025	34	0.015	0.2	0.0025	3	0.0025	53	140		15.4		
12/11/2003	0.0025	0.05	0.005	482	0.001	164	134	1200	0.0025	571	0.01	0.025	0.01	34	0.0025	21	0.015	0.4	0.0025	3	0.0025	85	106		14.5		
14/06/2004	0.0025	0.05	0.005	436	0.001	205	263	1425	0.0025	625	0.01	0.1	0.01	35	15.4	21	0.015	0.4	0.0025	4	0.0025	95	124		15.4		
05/10/2004	0.0025	0.05	0.005	390	0.001	190	240	1475	0.0025	644	0.01	0.025	0.01	45	0.015	19	0.015										

Tabella 83 RN 61-00

	Croma II	Alluminio	Argento	Alcalinità totale	Arsenic	Calcio	Cloruri	Conduttività	Cromo VI	Durezza	Ferro	Fluoruri	IONE AMH	Manganese	Nitrati	Nitriti	Ossidabili	Piombo	Potassio	Rame	Sodio	Solfati	TEMPER	Zinco	
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	°C	mg/L	
2704/1988				240	65.5	12.4	490	0.2																	
2510/1988				240	70.8	14.2	495	0.07																	
1904/1989				277	13.8	4.55	0.0025	224	0.025	0.05															
04010/1989				325	72	12.5	520	0.0025	245	0.074	0.05	0.025	16	0.01	1.1	0.015	0.6	0.0025	2.9	0.005	27	56.4	14.5	0.025	
1004/1990				225	63.3	14.8	520	0	241	0.087	0.16	0	17.1	0	2.3	0	0.3	0	2	0.005	30.5	14.4	14.2	0.023	
2709/1990				220	70.4	15.3	520	0.0025	241	0.08	0.11	0.025	15.8	0.01	1.4	0.015	0.3	0.0025	2.2	0.0025	31	59.4	14.5	0.025	
2304/1991				272	0.001	72	14	512	0.0025	239	0.056	0.13	0.025	14	0.01	2	0.015	0.3	0.0025	2.1	0.0025	28	57	14.2	0.023
26/11/1991				235	0.001	79	16	502	0.0025	243	0.045	0.22	0.025	12.3	0.01	4	0.015	0.3	0.0025	1.9	0.0025	31	71	14.3	0.025
1905/1992				220	0.001	79	13	511	0.0025	243	0.045	0.17	0.025	12.3	0.01	2	0.015	0.3	0.0025	2	0.0025	30	57	14.4	0.023
04010/1992				225	0.001	64	13	510	0.0025	239	0.128	0.19	0.025	18	0.01	2	0.015	0.7	0.0025	2.3	0.0025	27.2	55	14.7	0.02
0406/1993				215	0.001	71	12	494	0.0025	232	0.075	0.17	0.025	13	0.01	2	0.015	0.3	0.0025	2.1	0.0025	36	55	14.3	0.02
2510/1993				225	0.001	72	15	510	0.0025	239	0.064	0.16	0.025	14.2	0.01	2	0.015	0.7	0.0025	2.1	0.0025	29	48	14.5	0.023
2005/1994				225	0.001	72	15	505	0.0025	241	0.025	0.16	0.025	15.1	0.01	2	0.015	0.3	0.0025	2.2	0.0025	25.4	54	14.3	0.23
0210/1994				220	0.001	69	19	508	0.0025	238	0.025	0.13	0.025	16.2	0.01	5	0.015	0.7	0.0025	2.2	0.0025	29.8	59	14.7	0.017
2010/1995				225	0.001	81	21	520	0.0025	243	0.025	0.13	0.025	12	0.01	6	0.015	0.7	0.0025	2.1	0.0025	28.3	59	14.4	0.023
1204/1996				225	0.001	76	19	591	0.0025	239	0.025	0.12	0.025	12.2	0.01	7	0.015	0.9	0.0025	2.3	0.0025	35	55	14.4	0.022
1010/1996				220	0.001	63	19	523	0	239	0.025	0.17	0.025	17	0.01	4	0.015	0.3	0.0025	2.1	0.0025	30	60	14.1	0.005
1104/1997				210	0.001	92	19	517	0.0025	194	0	0.5	0.025	16.1	0.01	5	0.015	0.7	0.0025	1.3	0.0025	39	55	13.2	0.015
0910/1997				220	0.001	70	20	528	0.0025	246	0.045	0.17	0.025	17	0.01	3	0.015	0.7	0.0025	2	0.0025	30	60	14.4	0.012
1404/1998				220	0.001	63	14	511	0.0025	220	0.05	0.12	0.025	12	0.01	4	0.015	0.4	0.005	2.4	0.004	30	59	14.4	0.05
2505/1999				220	0	64	17	522	0.0025	239	0.025	0.1	0.025	14	0.01	3	0.015	0.7	0	2.6	0.0025	30	60	14.9	0.005
04010/1999				135	0.001	26	23	433	0.0025	246	0.025	0.9	0.025	15	0.01	4	0.015	0.4	0.0025	2.5	0.0025	30	61	14.9	0.005
0704/2000				0	0.001	69	19	592	0.0025	243	0.025	0	0.025	17	0	2	0.015	0.2	0.0025	2.4	0	32	55	14.3	0
0210/2000				0	0.001	91	24	530	0.0025	214	0.025	50	0.025	15	0.01	3	0.015	0.3	0.0025	2	0.0025	34	59	14.7	0.005
0204/2001				0	0.001	61	19	540	0.0025	236	0.025	300	0.025	17	0.01	2	0.015	0.5	0.0025	2	0.0025	35	57	14.7	0.013
2309/2001				0	0.001	84	23	531	0.0025	232	0.115	400	0.025	17	0.01	1.8	0.015	1	0.0025	2	0.0025	34	56	14.9	0.005
2108/2002				280	0.001	75	27	510	0.0025	255	0.02	300	0.01	13	0.0025	2.7	0.005	0.3	0.0025	2	0.0025	30	55	14.0	0.027
2210/2002				290	0.001	75	25	492	0.0025	255	0.01	300	0.01	13	0.0025	2.5	0.005	0.4	0.0025	2	0.0025	32	55	14.1	0.005
1905/2003				277	0.001	63	17	517	0.0025	296	0.01	300	0.01	13	0.0025	3	0.015	0.2	0.0025	2	0.0025	37	69	15.2	0.005
1911/2003				320	0.001	84	32	530	0.0025	214	0.025	25	0.01	11	0.0025	0.5	0.015	0.3	0.0025	4	0.0025	24	49	14.2	0.005
1406/2004				281	0.001	78	29	549	0.0025	266	0.01	300	0.01	17	0.012	1	0.015	0.5	0.0025	2	0.0025	31	63	14.9	0.005
0510/2004				274	0.001	74	21	502	0.0025	293	0.01	300	0.01	15	0.0025	1.5	0.015	0.4	0.0025	2	0.0025	38	60	14.6	0.005
2303/2005				270	0.0005	75	16	473	0.001	257	0.156	100	0.01	16	0.018	1.5	0.005	0.7	0.001	2	0.0025	32	64	14.2	0.005
2709/2005				280	0.0005	73	29	608	0.001	271	0.005	25	0.01	13	0.0025	1	0.005	0.3	0.001	1.8	0.0025	32	56	14.8	0.005
2902/2006				274	0.0005	74	19	594	0.001	250	0.005	620	0.01	15	0.0025	2.3	0.005	0.4	0.001	2	0.0025	29	15	14.4	0.005
1504/2006				341	0.0005	49	24	597	0.001	164	0.024	150	0.01	11	0.0025	2.1	0.005	0.2	0.001	3	0.0025	41	74	14.3	0.005
2002/2007				300	0.0005	81	16	547	0.001	280	0.005	130	0.01	13.5	0.0025	0.5	0.005	0.05	0.001	1.9	0.0025	34	65	14.2	0.005
1101/2007				305	0.0005	83	24	585	0.001	282	0.005	480	0.01	15	0.0025	0.5	0.005	0.5	0.001	1.4	0.0025	28	63	14.3	0.005
1703/2008				275	0.0005	70.67	14	577	0.001	244	0.118	113	0.01	16.47	0.012	0.5	0.015	0.4	0.001	1.99	0.0025	29.5	63	14.4	0.005
2409/2008				262	0.0005	71.1	22	617	0.001	242	0.01	122	0.01	15.49	0.0025	1	0.015	0.4	0.001	2.07	0.0025	27.97	54	14.2	0.005
2503/2009				0	0.0005	73.22	16	515	0.001	251	0.052	0	0	16.4	0.007			0.7	0.001	2.2	0.0025	31.79	63	14.3	0.005
0709/2009				0	0.0005	98.3	21.7	605	0.001	212	0.01	122	0.01	19.6	0.0025			1	0.001	1.9	0.0025	25	57.4	14.5	0.005

Tabella 84 RN 63-01

	Alluminio	Argento	Alcalinità totale	Arsenic	Calcio	Cloruri	Conduttività	Cromo VI	Durezza	Ferro	Fluoruri	IONE AMH	Magnesio	Manganese	Nitrati	Nitriti	Ossidabili	Piombo	Potassio	Rame	Sodio	Solfati	TEMPER	Zinco	
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	°C	mg/L	
0209/2002				543	0.001	150	87	1215	0.006	621	0.01	0.8	0.01	56	0.296	46.3	0	0.4	0.0025	0.5	0.0063	65	149	18	0.011
2810/2002				505	0.001	158	126	1228	0.0025	630	0.01	0.5	0.01	57	0.045	51	0	1	0.0025	1	0.0025	78	203	18.2	0.005
2705/2003				503	0.001	200	97	1425	0.0025	675	0.01	0.5	0.01	43	0.163	132	0	0.6	0.0025	0.8	0.0025	60	174	15.4	0.005
1101/2003				518	0.001	145	70	1263	0.0025	650	0.01	0.025	0.01	58	0.034	88	0.015	1	0.0025	0.6	0.0025	68	158	16	0.005
2806/2004				537	0.001	156	87	1274	0.0025	660	0.01	0.9	0.01	64	0.315	77	0.015	1.1	0.0025	0.5	0.0025	73	15	16.4	0.005
1910/2004				600	0.001	142	77	1256	0.0025	650	0.01	0.3	0.01	60	0.246	49	0.015	1.2	0.0025	0.5	0.0025	74	140	18.3	0.005

Tabella 85 RN 71-00

	Alluminio	Argento	Alcalinità totale	Arsenic	Calcio	Cloruri	Conduttività	Cromo VI	Durezza	Ferro	Fluoruri	IONE AMH	Magnesio	Manganese	Nitrati	Nitriti	Ossidabili	Piombo	Potassio	Rame	Sodio	Solfati	TEMPER	Zinco		
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	°C	mg/L		
2108/2002				274	0.001	88	21	615	0.0025	0.0025	287	0.01	0.05	0.01	18	0.0025	18	0.005	0.2	0.0025	2	0.0025	34	98	0	0.03
2210/2002				268	0.001	88	21	574	0.0025	0.0025	295	0.01	0.2	0.01	18	0.0025	18	0.005	0.5	0.0025	2	0.0025	34	97	14.6	0.005
1905/2003				274	0.001	95																				

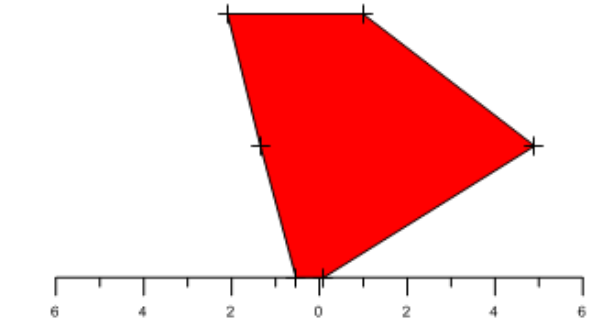
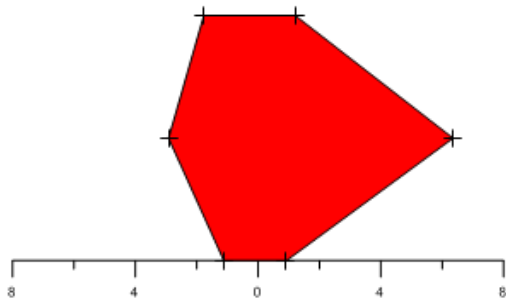
**Tabella 87 RN 73-00**

	Alluminio mg/L	Argento mg/L	Alcalinità totale mg/L	Arsenico mg/L	Calcio mg/L	Cloruri mg/L	Conduttività µS/cm	Cromo tot mg/L	Cromo VI mg/L	Durezza mg/L	Ferro mg/L	Fluoruri mg/L	ICONE AM mg/L	Magnesio mg/L	Manganese mg/L	Nitriti mg/L	Nitri mg/L	Ossidabi mg/L	Piombo mg/L	Potassio mg/L	Rame mg/L	Sodio mg/L	Solfati mg/L	TEMPER C	Zinco mg/L
21/08/2002	0.05	0.005		280	0.001	94	43	716	0.0025	0.0025	335	0.01	0.05	0.01	25	0.0025	8	0.005	0.2	0.0025	4	0.0025	50	140	0.042
22/10/2002	0.05	0.005		287	0.001	92	38	658	0.0025	0.0025	336	0.01	0.5	0.02	24	0.0025	8	0.005	0.5	0.0025	3	0.0025	44	114	14.7
19/05/2003	0.05	0.005		300	0.001	98	44	773	0.0025	0.0025	332	0.01	0.3	0.01	21	0.0025	9	0.015	0.4	0.0025	3	0.0025	46	130	15.3
19/11/2003	0.05	0.005		366	0.001	120	28	800	0.0025	0.0025	278	0.01	0.025	0.01	19	0.0025	12	0.015	0.6	0.0025	3	0.0025	39	117	14
14/06/2004	0.05	0.005		317	0.0049	99	27	725	0.0025	0.0025	334	0.01	0.2	0.01	22.5	0.006	12	0.015	0.8	0.0025	3	0.0025	46	123	15.2
05/10/2004	0.05	0.005		323	0.001	98	33	684	0.0025	0.0025	368	0.01	0.1	0.01	24	0.007	15.7	0.015	0.7	0.0025	4	0.0025	47	125	14.9
23/03/2005				290	0.0005	89	22	729	0.001	0.0025	314	0.005	0.025	0.01	20	0.0025	7	0.005	1.5	0.001	3.8	0.0025	45	121	14.7
27/09/2005				282	0.0005	120	28	753	0.001	0.0025	432	0.005	0.025	0.01	20	0.0025	11.7	0.005	0.3	0.001	3.2	0.0025	42	119	15
23/03/2006				268	0.0005	95	23	730	0.001	0.0025	310	0.005	0.34	0.01	18	0.0025	8.8	0.005	0.9	0.001	3	0.0025	37	125	14.4
18/09/2006				203	0.0005	92	34	734	0.001	0.0025	321	0.005	0.29	0.01	21	0.0025	12	0.005	0.4	0.001	3.4	0.0025	40	151	14.3
20/03/2007				323	0.0005	101	30	746	0.001	0.0025	328	0.005	0.47	0.01	19	0.0025	14.6	0.005	0.2	0.001	3	0.0025	40	120	14.1
11/10/2007				305	0.0005	111	39	785	0.001	0.0025	360	0.005	0.58	0.01	20	0.0025	13.3	0.005	0.2	0.001	3.2	0.0025	43	128	14.5
19/03/2008				183	0.0005	92	29	779	0.001	0.0025	232	0.01	0.116	0.01	22.93	0.0025	12	0.015	0.2	0.001	3.33	0.0025	40.31	132	13.9
22/09/2008				293	0.0005	88.06	23	766	0.001	0.0025	298	0.01	0.234	0.01	20.28	0.0025	9	0.015	0.3	0.001	3.22	0.0025	35.74	116	14.1
23/03/2009					0.0005	85.64	24	715	0.001	0.0025	298	0.01			20.43	0.0025			0.3	0.001	3.51	0.0025	41.68	114	14.2
02/09/2009					0.0005	60	22	717	0.0025		283	0.01	0.12		20.8	0.0025			0.9	0.001	3.5	0.0025	38.9	110	14.6

**Tabella 88 RN 74-00**

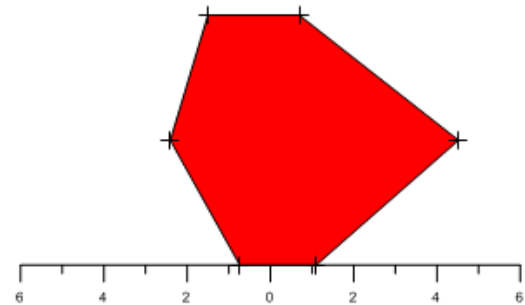
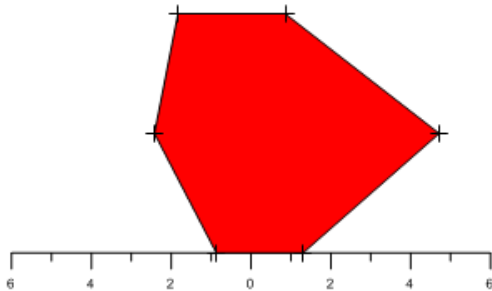
	Alluminio mg/L	Argento mg/L	Alcalinità totale mg/L	Arsenico mg/L	Calcio mg/L	Cloruri mg/L	Conduttività µS/cm	Cromo tot mg/L	Cromo VI mg/L	Durezza mg/L	Ferro mg/L	Fluoruri mg/L	ICONE AM mg/L	Magnesio mg/L	Manganese mg/L	Nitriti mg/L	Nitri µg/L	Ossidabi mg/L	Piombo mg/L	Potassio mg/L	Rame mg/L	Sodio mg/L	Solfati mg/L	TEMPER C	Zinco mg/L
21/08/2002	0.05	0.005		397	0.001	120	49	848	0.0025	0.0025	423	0.01	0.05	0.01	28	0.008	31	5	0.4	0.0025	3	0.0099	47	92	0.019
22/10/2002	0.05	0.005		394	0.0032	118	43	770	0.0025	0.0025	393	0.01	0.6	0.01	28	0.0025	28	5	0.8	0.0025	3	0.0025	44	83	14.9
19/05/2003	0.05	0.005		384	0.001	120	47	870	0.0025	0.0025	457	0.01	0.025	0.01	24	0.0025	30	15	0.6	0.0025	3	0.0025	42	90	15
12/11/2003	0.05	0.005		396	0.001	120	34	798	0.0025	0.0025	410	0.01	0.7	0.01	24	0.0025	32	15	0.5	0.0025	2	0.0025	38	76	14
14/06/2004	0.05	0.005		420	0.001	127	39	820	0.0025	0.0025	443	0.01	0.2	0.01	27	0.0025	32	15	0.5	0.0025	3	0.0025	41	81	14.6
05/10/2004	0.05	0.005		415	0.001	106	43	753	0.0025	0.0025	325	0.01	0.025	0.01	25	0.101	33	15	0.5	0.0025	3	0.0025	44	85	15.5
23/03/2005				404	0.0005	114	37	850	0.001	0.0025	393	0.01	0.1	0.01	27	0.043	1	5	1	0.001	3.2	0.01	41	82	14.3
27/09/2005				390	0.0005	130	46	936	0.001	0.0025	314	0.005	0.2	0.01	27	0.0025	33	5	0.8	0.001	3	0.0025	42	89	15
23/03/2006				296	0.0005	94	41	871	0.001	0.0025	342	0.536	0.34	0.01	24	0.045	0.5	5	0.6	0.001	2.6	0.0025	35	91	14.1
18/09/2006				356	0.0005	116	54	930	0.001	0.0025	446	0.015	0.34	0.01	37	0.0025	34.8	5	0.6	0.001	3.2	0.0025	38	110	14.9
20/03/2007				409	0.0005	133	47	907	0.001	0.0025	428	0.005	0.88	0.01	24	0.0025	36	5	0.2	0.001	3	0.0025	40	92	14.3
11/10/2007				403	0.0005	132	52	951	0.001	0.0025	436	0.005	0.025	0.01	26	0.0025	37	5	0.2	0.001	3	0.0025	42	100	14.6
17/03/2008				403	0.0005	124.1	44	939	0.001	0.0025	428	0.01	0.09	0.01	28.75	0.0025	40	15	0.8	0.001	3.04	0.0025	40.73	101	14.4
24/09/2008				360	0.0005	121.3	43	980	0.001	0.0025	414	0.01	0.094	0.01	27.1	0.0025	38	15	0.4	0.001	3.19	0.017	39.21	92	14.3
07/09/2009					0.0005	78.5	27.2	956	0.001	0.0025	260	0.01	0.15	0.01	30.1	0.0025			1	0.003	2.9	0.0025	36	60.3	14.7

**STIFF DIAGRAMS**



**Figura 41 RN 21-02**

**Figura 42 RN 30-00**



**Figura 101 RN 29-00**

**Figura 102 RN 31-01**

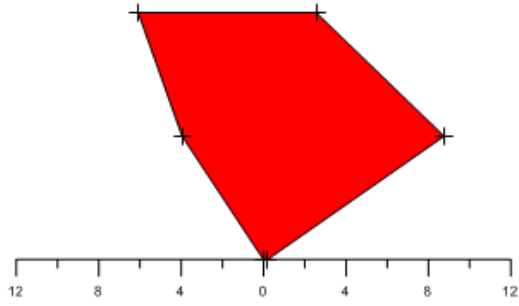


Figura 103 RN 33-00

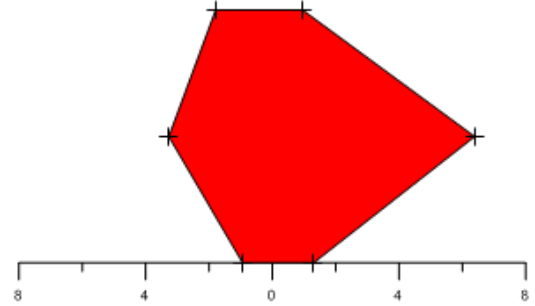


Figura 104 RN 61-00

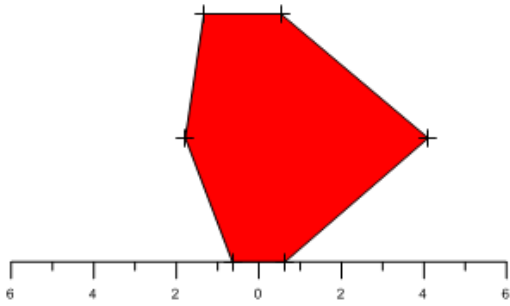


Figura 105 RN 33-01

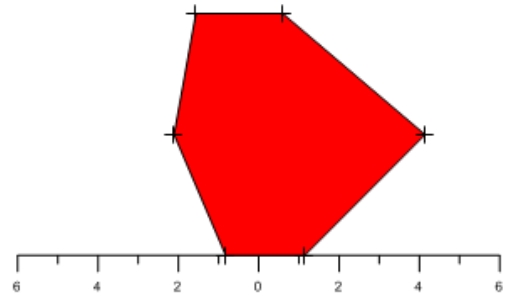


Figura106 RN 63-01

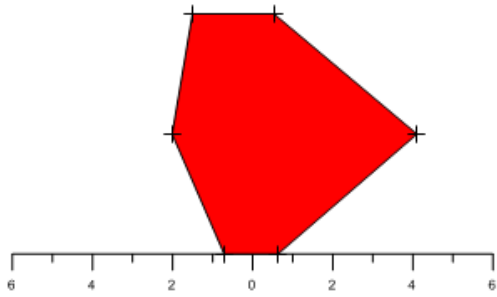


Figura107 RN 34-00

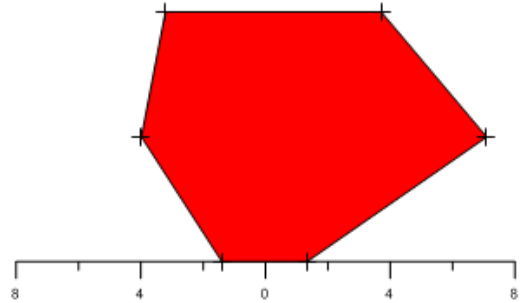


Figura 108 RN 71 -00

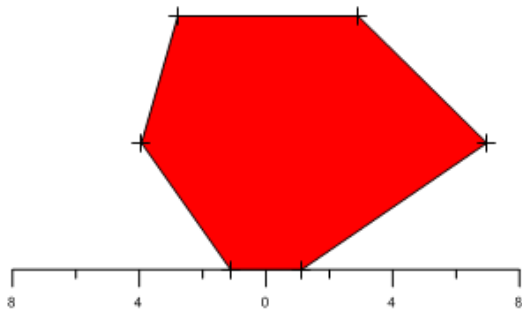


Figura 109 RN 60-01

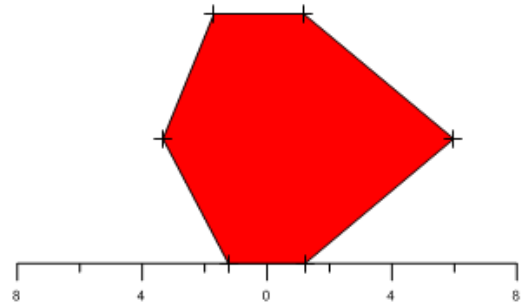


Figura 110 RN 72-00

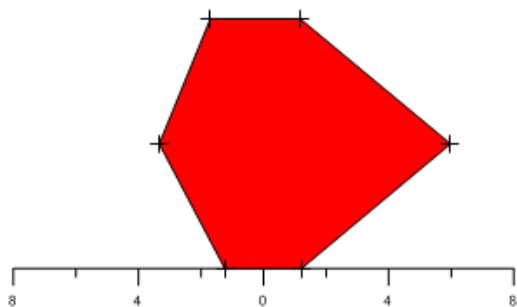


Figura 111 RN 73-00

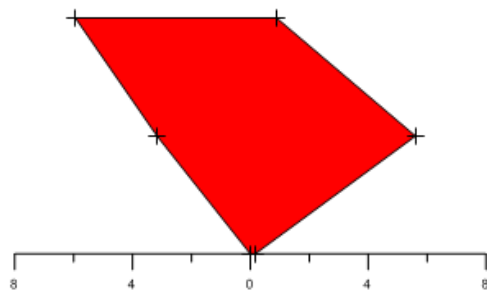


Figura 112 RN 74-00

## DATI ACQUISITI

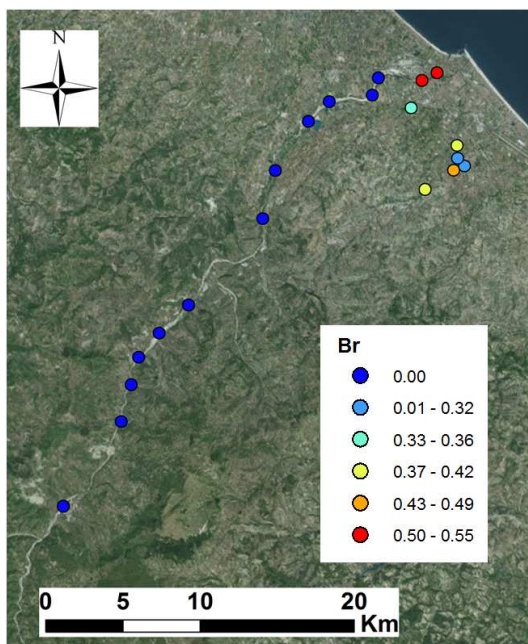


Figura 113 bromo

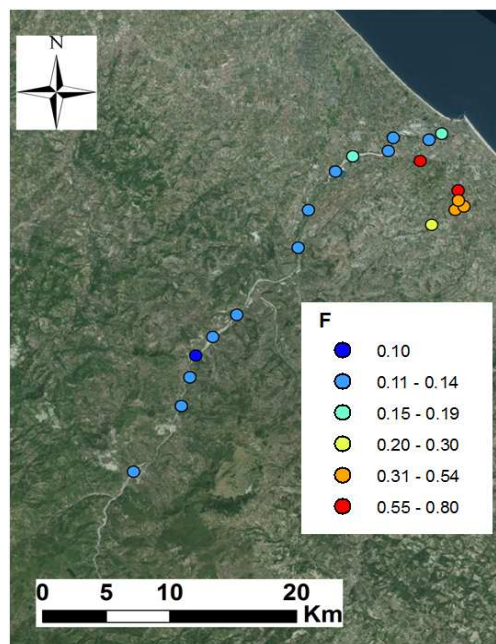


Figura114 fluoruri



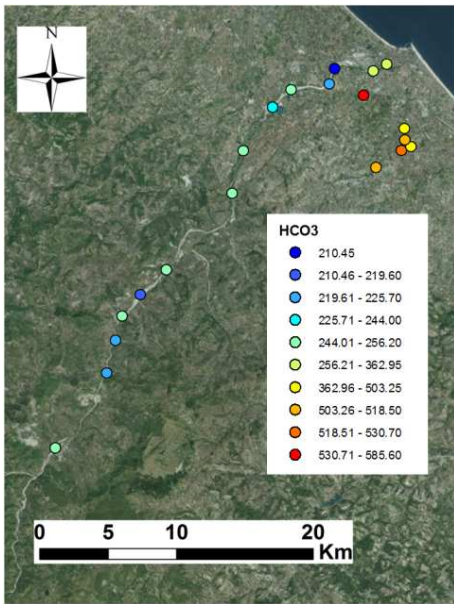


Figura 43 bicarbonato

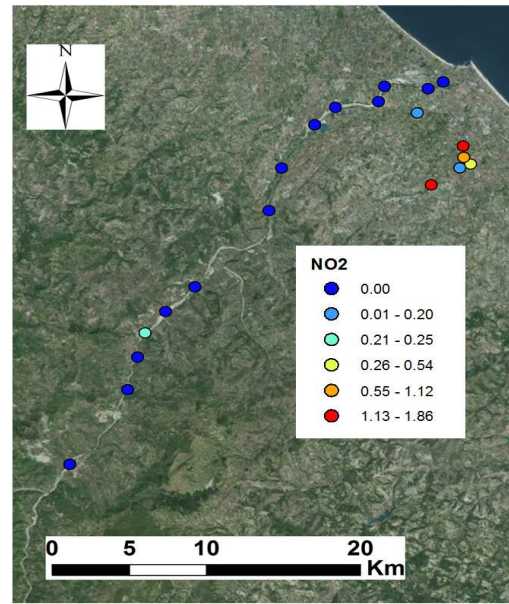


Figura 116 nitriti

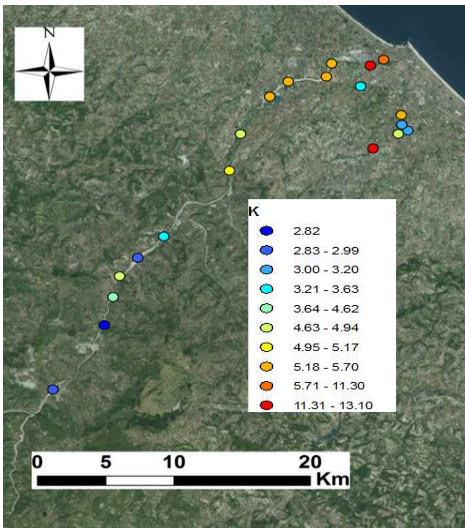


Figura 117 potassio

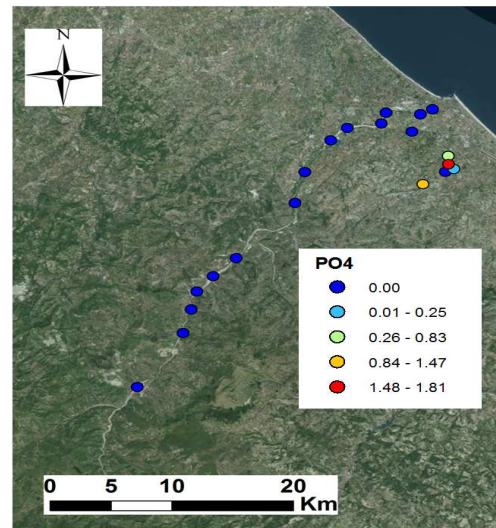


Figura 118 fosfati

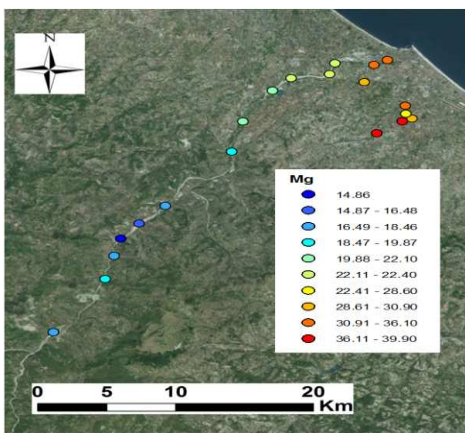


Figura119 magnesio

