

ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE

Corso di laurea magistrale in  
ANALISI E GESTIONE DELL'AMBIENTE

# **Evoluzione delle acque sotterranee a seguito di un incendio nella pineta costiera Ramazzotti**

**TESI DI LAUREA IN IDROLOGIA AMBIENTALE**

Relatore

Prof. Marco Antonellini

Presentata da:

Giuseppe Cirillo

Correlatori:

Dott.ssa Beatrice M.S. Giambastiani

Dott. Nicolas Greggio

Controrelatore:

Prof. Enrico Dinelli

**III Sessione**

**Anno Accademico 2014-2015**

# INDICE

<b>1.INTRODUZIONE</b>	<b>5</b>
1.1 Le acque sotterranee	5
1.2 Le dune costiere	7
<b>2.SCOPO</b>	<b>8</b>
<b>3.INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO</b>	<b>9</b>
3.1 Area di Studio	9
3.1.1 La Pineta Ramazzotti	10
3.2 Caratterizzazione dell'acquifero costiero	11
3.3 Caratterizzazione delle acque sotterranee	12
3.4 Inquadramento geomorfologico	13
<b>4.MATERIALI E METODI</b>	<b>15</b>
4.1 I minifiltri	16
4.2 Monitoraggio della freaticimetria	22
4.3 Raccolta dei campioni	22
4.4 Monitoraggio diretto dei parametri chimico-fisici delle acque di falda	23
<b>5.RISULTATI</b>	<b>25</b>
<b>6.DISCUSSIONE</b>	<b>41</b>
<b>7.CONCLUSIONI</b>	<b>35</b>
<b>8.BIBLIOGRAFIA</b>	<b>46</b>

# 1. Introduzione

Le pinete costiere ravennati sono l'ultima testimonianza di quelle che in passato erano le zone boschive naturali della Pianura Padana e sono portatrici di un grande valore di tipo ambientale ma anche paesaggistico e storico-turistico.

In questo momento queste aree costiere sono molto sensibili perché sottoposte ad alcune fonti di stress, quali la salinizzazione degli acquiferi e la naturale ed antropica modificazione del territorio costiero.

Le peculiarità idrologiche e idrogeologiche della pineta costiera di Lido di Dante ("Ramazzotti") fanno parte di un rapporto antico e conflittuale fra le attività umane e il ruolo che le acque rappresentano per loro.

Da un lato sono essenziali per le zone umide, l'agricoltura, le attività civili ed industriali che si sviluppano tutto intorno ad esse, dall'altro, data la presenza dei fiumi Uniti a nord e Torrente Bevano a sud, e la bassa topografia del territorio hanno sempre costituito un elemento di rischio per la conservazione degli habitat e per l'incolumità pubblica derivante dalle alluvioni durante i periodi estremamente piovosi.

All'interno del sistema costiero preso in esame in questo lavoro, la duna è la parte più interna del sistema spiaggia e quindi rappresenta il limite di demarcazione tra l'ambiente marino e quello continentale

Le dune sono la barriera naturale contro l'ingressione del cuneo salino durante gli eventi di mareggiata più violenti e rappresentano una fonte naturale di ripascimento delle spiagge; proprio per questo è possibile affermare che le dune rappresentano un valore economico rilevante per i litorali, ma particolarmente per quelli molto sfruttati dal turismo come nel caso di quello romagnolo (Antonellini, et al., 2008).

Le dune rappresentano anche un fattore ecologico rilevante per la fauna e la flora locali.

Il cordone dunoso non è però solo una difesa nella protezione delle zone interne durante gli eventi estremi come poderose mareggiate, bensì rappresenta anche una parte circoscritta di territorio all'interno del quale si sviluppa un importante fenomeno quale quello della ricarica delle falde acquifere a seguito delle precipitazioni.

Normalmente le masse d'acqua apportate dalle precipitazioni tendono ad infiltrarsi all'interno dell'acquifero, creando successivamente delle lenti di acqua dolce capaci di respingere l'intrusione salina.

Il principio fisico di Ghyben Herzberg (Figura 1) che regola la profondità dell'interfaccia acqua dolce-salata pone tale limite ad una profondità direttamente proporzionale al battente di acqua dolce presente al di sopra del livello medio mare.

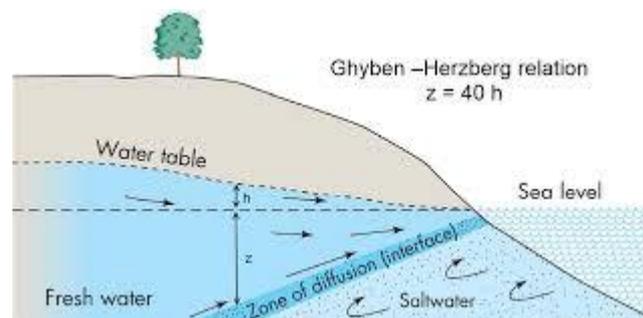


Figura 1: rappresentazione grafica del principio di Ghyben-Herzberg (Environmental Biogeography, 2005).

Il fattore di proporzionalità è di circa 40. Ne consegue che all'aumentare o al diminuire di un solo centimetro del battente dolce sopra il livello del mare, l'interfaccia tra acqua dolce e salata subisce uno spostamento di 40 cm verso l'alto o verso il basso. Da qui la rilevanza di studiare, caratterizzare e preservare queste importanti riserve di acqua dolce (Herzberg, 1901); (Badon-Ghijben, 1888)

## 1.1 Le acque sotterranee

Le acque sotterranee sono quelle acque che si trovano al di sotto della superficie topografica, nella zona di saturazione e in diretto contatto con il suolo e il sottosuolo (D.Lgs. 152/2006 art.74 comma 1 lettera l).

Le acque sotterranee rappresentano circa il 22% di tutte le acque dolci del nostro pianeta (Press & Siever, 1997) e si trovano tipicamente in rocce permeabili note come acquiferi.

L'acquifero è una formazione o gruppo di formazioni costituite da roccia e/o terreno sciolto i cui pori, all'interno della matrice solida, sono saturati da acqua in grado di muoversi in funzione della permeabilità dell'acquifero stesso (Calatace, Fratini, Guerra, Pascarella, & Zampetti, 2007).

Durante le precipitazioni, una parte delle acque meteoriche raggiunge il terreno e fluisce per ruscellamento terminando nel reticolo idrografico, una parte delle acque viene usata dalle piante, una parte è soggetta ad evaporazione e quindi al ritorno in atmosfera ed infine una parte finisce per infiltrarsi nel sottosuolo.

A governare il fenomeno di infiltrazione sono le caratteristiche del suolo, specialmente la porosità e la permeabilità.

La porosità è definita come il rapporto tra il volume totale dei vuoti (pori, interstizi, ecc.) presenti nel sedimento/roccia ed il volume totale del sedimento/roccia.

I vuoti presenti in una roccia o in un sedimento possono essere comunicanti fra loro oppure isolati cosicché condizionano la possibilità di movimento di acqua al proprio interno ovvero la permeabilità della roccia o del sedimento stessi.

Le acque presenti nel sottosuolo rivestono particolare importanza per molteplici ragioni; non solo perché sono la più grande riserva di acqua dolce presente sul pianeta ma anche perché rappresentano la risorsa maggiormente utilizzata sia dalle aziende di distribuzione dell'acqua potabile sia dai singoli cittadini per usi domestici, commerciali ed agricoli.

Lo sfruttamento di questa risorsa, talvolta, può rappresentare un problema poiché è lentamente rinnovabile in quanto i tassi di ricarica sono inferiori rispetto ai tassi di prelievo, soprattutto in luoghi in cui la popolazione abbia un'elevata densità. Inoltre, il sovra-sfruttamento implica la compattazione secondaria del materiale dell'acquifero e, conseguentemente, subsidenza.

## 1.2 Le dune costiere

Le spiagge, costituite da una parte emersa ed una sommersa, insieme alle dune sono parte integrante di un unico sistema ambientale e territoriale che va sotto il nome di “zona di transizione”, dove si assiste al passaggio tra l'ambiente terrestre e quello marino. Si tratta infatti di un sistema molto dinamico, nello spazio e nel tempo, in cui il sedimento sabbioso viene costantemente ridistribuito dalle onde e dal vento e sul quale si sviluppa una tipica vegetazione pioniera particolarmente resistente alla salinità.

La duna è un accumulo eolico di sedimenti sabbiosi<sup>1</sup> incoerenti (Figura 2) e costituisce l'elemento geomorfologico di base dei complessi sistemi di dune.



*Figura 2: duna costiera a sud della foce Bevano. Foto scattata durante la campagna di monitoraggio (2014).*

---

<sup>1</sup> le sabbie sono convenzionalmente costituite da frammenti di diametro medio inferiore a 2 mm.

## 2. Scopo

Lo scopo di questa tesi consiste nell'effettuare una caratterizzazione dell'idrogeologia di una rappresentativa porzione dell'acquifero freatico costiero situata in un cordone di dune posto nella Pineta di Lido di Dante ("Pineta Ramazzotti") a nord di Foce Bevano. Lo studio vuole quindi essere rappresentativo per le caratteristiche idrogeologiche della Pineta Ramazzotti a seguito dell'incendio avvenuto nel 2012.

L'indagine in questione è volta a verificare l'impatto dell'incendio nella zona di pineta sull'acquifero superficiale costiero, per verificare la presenza di lenti di acqua dolce e la loro evoluzione nel tempo.

Inoltre, si è indagato l'impatto sulla qualità delle acque sotterranee dovuto al dilavamento delle ceneri alla ricerca di un loro possibile effetto basificante (innalzamento del pH dell'acqua).

A tal fine è stato valutato l'andamento di alcuni parametri chimico-fisici delle acque sotterranee, conduttività elettrica e pH; inoltre, è stata monitorata la profondità della tavola d'acqua (*water table* - WT). Questi monitoraggi hanno permesso di descrivere la distribuzione delle acque dolci e di quelle salate nonché la loro dinamica stagionale.

I campioni sottoposti alla misurazione dei parametri chimico-fisici sono stati prelevati nei piezometri denominati MF1-1, MF1-2, MF1-3, MF1-4, MF1-5, MF2-2, MF2-3, MF2-4, MF3-1, MF3-2, MF3-3, MF3-4, MF3-5, MF4-1, MF4-2, MF4-3 i quali sfruttano la tecnologia dei minifiltri (Figura 3).

Per il monitoraggio della profondità della tavola d'acqua sono stati sfruttati gli stessi piezometri sopracitati.

### **3. Inquadramento dell'area di studio**

#### **3.1 Area di Studio**

L'area di studio si trova in corrispondenza di un bacino di drenaggio che afferisce all'omonima idrovora situata ad ovest della Pineta di Classe, nella porzione meridionale del Comune di Ravenna. (Figura 3)

Questo bacino di drenaggio è delimitato a nord e a sud dalla parte terminale di due corsi d'acqua, rispettivamente Fiumi Uniti e Bevano. Ad est è delimitato dal mare e ad ovest confina con un altro bacino di drenaggio che possiede gradiente naturale sufficiente per confluire a mare senza sollevamento meccanico.

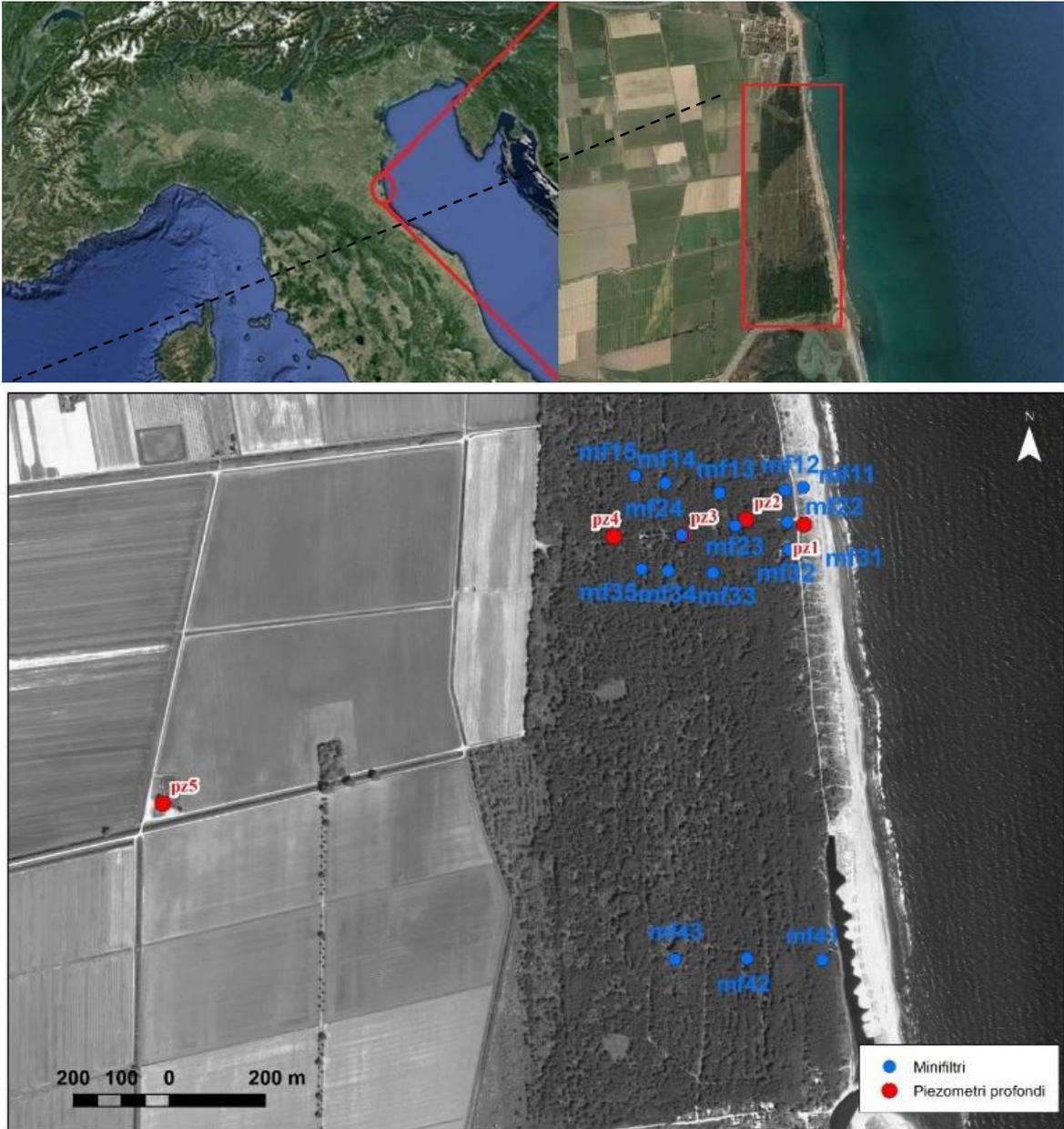


Figura 3: area di studio. Da:Google Earth (2014) e dettaglio dell'area di campionamento

### 3.1.1 La Pineta Ramazzotti

La pineta Ramazzotti (circa 100 ettari) vegeta sui resti del cordone di dune naturali a nord della Foce del fiume Bevano. Questa pineta costiera venne piantata all'inizio del XX secolo per stabilizzare la sabbia e proteggere le colture interne dallo spray marino.

Nel luglio del 2012 un incendio ha devastato 56 ettari della riserva naturale e 19 ettari di foresta sono stati completamente distrutti e lasciati privi di vegetazione. (Giambastiani, Greggio, Pacella, Iodice, & Antonellini, 2014)

Questo nuovo ambiente rappresenta una nuova area di ricarica naturale per la falda acquifera costiera.

### **3.2 Caratterizzazione dell'acquifero costiero**

L'acquifero costiero su cui sorge la pineta costiera tra Lido di Dante ed il Bevano è stato caratterizzato tramite la descrizione della stratigrafia delle carote ottenute durante lo scavo di piezometri profondi.

L'installazione dei piezometri sopracitati è stata effettuata nell'ambito del progetto RIGED-RA "Ripristino e gestione delle dune costiere ravennate", progetto di cooperazione tra Eni, comune di Ravenna, Fondazione Flaminia e IGRG.

L'acquifero freatico costiero è un corpo sabbioso cuneiforme aperto a mare, che si estende dalla linea di costa verso l'entroterra aumentando di dimensioni e spessori procedendo in direzione sud-nord.

L'unità di sabbie è aperta a mare e si spinge verso l'interno per circa 8 km. Nella porzione più costiera del transetto l'acquifero risulta separato in due porzioni da uno strato di sedimenti fini, a componente principale argillosa limosa, denominato prodelta (Amorosi, Colalongo, Pasini, & Preti, 1999).

A distanza di alcuni km dalla linea di costa il prodelta sparisce originando da un corpo sabbioso unico. La chiusura dell'acquifero superficiale si trova a circa 8 km dal mare

in corrispondenza dei depositi a granulometria maggiore (ghiaie) che sono attualmente occupati da cave.

### **3.3 Caratterizzazione delle acque sotterranee**

Negli acquiferi l'intrusione salina è ormai un problema noto dal punto di vista ambientale, economico e sociale, in Europa e anche in tutta la fascia costiera romagnola. Con il termine intrusione salina definiamo il processo per il quale le acque marine invadono gli acquiferi contenenti acque sotterranee dolci e i corpi d'acqua superficiali nelle fasce costiere (Antonellini, et al., 2008).

La costa ravennate rappresenta una zona molto interessante dal punto di vista economico ed ambientale, in quanto coesistono aree con destinazioni d'uso molto differenti: uso agricolo, insediamenti abitativi, stabilimenti balneari, aree boschive, aree di cava e zone umide di elevato pregio. Lungo la costa adriatica della Pianura Padana, le risorse idriche sono sempre più scarse a causa degli elevati consumi irrigui, dall'eccessivo sfruttamento, della forte salinizzazione e dei lunghi periodi di siccità. (Antonellini, et al., 2008);

L'effetto di questa salinizzazione nella acque sotterranee in zone costiere ha effetti sulla biodiversità della vegetazione ma anche sull'efficienza della produzione agricola, perché a causa della salinizzazione del suolo le colture perdono di resa e la disponibilità di acqua dolce utile all'irrigazione diminuisce (Antonellini & Mollema, 2010).

A tutto questo vanno aggiunti gli alti tassi di subsidenza antropica e naturale che hanno influito sul territorio ravennate negli ultimi 50 anni ed il drenaggio artificiale; queste

sono le principali cause della salinizzazione nelle acque sotterranee di Ravenna. (Giambastiani B.M.S., 2007)

La qualità delle acque sotterranee nella pineta di Lido di Dante – Bevano viene costantemente monitorata grazie all'installazione di una rete di 5 piezometri profondi e 16 minifiltri, che permettono un campionamento dettagliato ogni 0.5-1 m fino alla profondità di 6 m dal piano campagna grazie alla presenza di filtri installati a profondità predefinite al momento dell'assemblaggio del piezometro.

### **3.4 Inquadramento geomorfologico**

L'evoluzione geologica di questa regione è stata da sempre controllata dall'alternanza tra sedimentazione continentale e marina (Greggio, 2013).

Dal punto di vista geologico strutturale l'area di studio si inserisce nel contesto della pianura costiera romagnola che rappresenta la parte sud est della più estesa pianura del fiume Po. Questo ampio bacino sedimentario (46000 km<sup>2</sup>) prende origine dalla fossa impostata fra l'Oligocene e il Miocene a causa dell'emersione della catena appenninica e della presenza di quella Alpina già quasi completamente emersa (Amorosi, et al., 2002). La storia evolutiva dell'area prosegue con l'alternarsi di fasi erosive e deposizionali. Nel Quaternario recente la sedimentazione prevale sulla subsidenza e depositi alluvionali continentali si sovrappongono a quelli marini. Tale fenomeno è evidente particolarmente nel settore orientale della pianura padana dove, a causa delle oscillazioni glaciali che interessano in quel periodo anche le nostre latitudini, si hanno oscillazioni del livello marino che rendono complesse le

condizioni di deposizione dei sedimenti nelle zone vicine alla costa. Considerando gli ultimi 70.000 anni circa, cioè partendo dall'ultima glaciazione Wurmiana (70.000 – 18.000 anni fa (Van Husen, 2004), il livello marino si abbassò progressivamente, secondo fasi successive, fino a circa 100 m rispetto al livello attuale. A seguito di tale abbassamento l'alto Adriatico si era trasformato in una vasta pianura alluvionale mentre la zona compresa tra le attuali isobate dei -60m e dei -100m, localizzata fra Ancona e Pescara era caratterizzata da ambienti lagunari e marino-costieri. Lo spessore dei sedimenti che testimonia la regressione Wurmiana è di circa 50m e sono costituiti in massima parte da limi argillosi con intercalazioni di sabbie e argille (Veggiani, 1974) (Amorosi, Colalongo, Pasini, & Preti, 1999). A partire da 18000 anni fa, iniziò una fase di miglioramento climatico a scala globale che portò ad una riduzione dei ghiacci ed un aumento del livello marino. Tale evento trasgressivo detto Flandriano, ebbe, in alcune fasi, un ritmo di avanzamento di circa 200 metri all'anno. La fase di stazionamento alto (Optimum climatico, circa 5500 anni fa) fu caratterizzata da un forte arretramento della linea di costa che si spinse, nelle aree più depresse dell'attuale pianura ravennate e del delta padano, fino a circa 20 km all'interno rispetto alla posizione attuale (Bondesan, Favero, & Vignals, 1995). Questa e le successive fasi regressive sono responsabili dell'interdigitazione fra sedimenti marini e continentali, caratteristica dell'area costiera ravennate (Amorosi, et al., 2002). Testimonianza di questa evoluzione la ritroviamo a circa 25 m di profondità dal piano campagna dove, ad argille e limi nerastri torbosi, si sovrappongono sedimenti marino costieri di pro-delta e cordoni litorali depositati durante la trasgressione.

## 4. Materiali e Metodi

In questo capitolo vengono descritti la strumentazione utilizzata per portare a termine la sperimentazione e le metodiche osservate per effettuare le analisi chimico-fisiche dei campioni prelevati.

La valutazione dello stato attuale della falda e la comprensione del dinamismo governante l'acquifero dell'area esaminata è stato eseguito tramite un monitoraggio svolto tramite l'uso del sistema di campionamento multilivello con minifiltri, a cadenza mensile per una durata complessiva di 9 mesi (novembre 2014 – luglio 2015), dei parametri di profondità della falda e di quelli chimico-fisici di conduttività elettrica e pH.

Il monitoraggio di questi ultimi e della tavola d'acqua (WT) è stato effettuato in una rete piezometrica costituita da 16 sistemi di campionamento multilivello (Tabella 4-1).

Questo campionamento ha previsto l'analisi in campo dei parametri chimico-fisici accennati precedentemente.

Tabella 4-1: coordinate geografiche dei minifiltri e altezza su l.m.m. dei piezometri.

<b>nome identificativo</b>	<b>est</b>	<b>nord</b>	<b>z freatimetro (m l.m.m.)</b>
dreno est	286184,58	4916747,79	
dreno ovest	286310,65	4916783,02	
1,1	286614,74	4916807,99	2,47
1,2	286577,09	4916802,33	1,67
1,3	286440,59	4916796,49	1,20
1,4	286327,53	4916817,19	0,94
1,5	286264,27	4916833,04	0,67
2,2	286581,45	4916735,75	0,96
2,3	286472,95	4916727,54	1,24
2,4	286361,27	4916708,87	0,78
3,1	286619,65	4916672,60	2,57
3,2	286584,53	4916677,72	1,31
3,3	286427,50	4916629,18	1,31
3,4	286333,34	4916633,45	0,65
3,5	286278,82	4916636,90	0,73
4,1	286654,58	4915818,57	1,44
4,2	286497,53	4915821,85	0,56
4,3	286347,72	4915819,84	0,71

#### **4.1 I minifiltri**

Un protocollo standard univoco per la misura della salinità delle acque in falda non è ancora stato individuato dalla comunità scientifica internazionale (Cheng et al. 2001). Al fine di rimediare questo problema, negli anni sono stati fatti alcuni lavori aventi lo scopo di individuare quale possa essere la metodologia più adatta da usare in zone caratterizzate da intrusione salina (Shalev et al. 2009, Balugani & Antonellini, 2010).

Per la raccolta dei dati in pozzo, le tecniche utilizzabili sono molteplici:

- Rilievo del profilo di salinità e di temperatura senza eseguire lo spurgo del pozzo. In questo caso viene evidenziato il vantaggio di avere a disposizione una tecnica molto rapida che potrebbe però presentare l'inconveniente che i parametri rilevati non siano rappresentativi della falda in questione. Ciò può essere dovuto al fatto che l'acqua, ristagnando per un certo intervallo di tempo all'interno del pozzo, può incorrere in variazioni delle proprie caratteristiche chimico-fisiche provocando un discostamento rilevante rispetto alle acque di falda circostanti.
- Rilievo del profilo di salinità, temperatura e pH previo spurgo di 3 volumi del pozzo (Appelo & Postma, 2005). Questa metodologia presenta due svantaggi; il primo di questi è il maggiore tempo di esecuzione dovuto dallo spurgo del piezometro.

Oltre a questo in acquiferi molto salinizzati, lo spurgo completo del pozzo potrebbe provocare l'eliminazione della modesta quantità di acqua dolce che occasionalmente si può trovare alla superficie della falda.

- Quantificazione della salinità nel campione estratto a una quota prefissata attraverso l'ausilio dello *straddle packers* Solinist™.

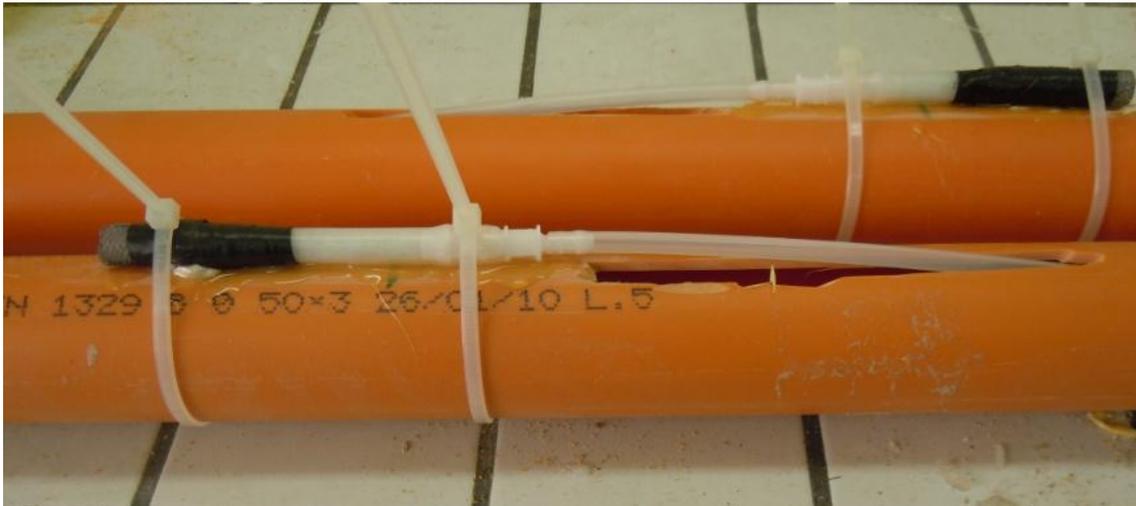
Questa particolare metodologia permette una buona precisione e rappresentatività del campione prelevato nonostante soffra di tempi di esecuzione piuttosto lunghi. Questa tecnica consiste nell'isolare una porzione dell'acquifero all'interno del piezometro stesso con l'ausilio di una camera d'aria (il *packer*) che viene gonfiata con una pompa peristaltica. La porzione

di acqua campionata, per i motivi sopracitati sarà rappresentativa della profondità dell'acquifero a cui è stato calato lo strumento.

- Misurazione dei parametri raccolti attraverso il sistema a minifiltri. Questo metodo è caratterizzato da tempi di campionamento molto rapidi e da un'ottima precisione e rappresentatività delle acque di falda a differenti profondità. La difficoltà maggiore che si incontra nell'utilizzare questa tecnica si ha durante la fase di installazione che è piuttosto delicata

Da alcuni anni, nel nord dell'Europa ( (Pickens, Cherry, Grisak, Merritt, & Risto, 1978) (Cherry, Gillham, Anderson, & Johnson, 1983) (Neilsen & Yeates, 1985) (Keely & Boateng, 1987) (Stites & Chambers, 1991) (Davis & Barber, 1994) (Lerner & Teutsch, 1995)) la metodologia a minifiltri o i *nested piezometers* vengono utilizzate di routine per il monitoraggio delle acque di falda. In particolare modo, in Olanda l'applicazione dei minifiltri è stata molto sperimentata, soprattutto presso la Vrije Universiteit di Amsterdam (Stuyfzand, 1983).

Il sistema a minifiltri (Figura 4) è costituito da un tubo guida (riser), in PVC dal diametro di 50 mm ed una lunghezza di 3 m, sul quale sono state praticate alcune aperture distanziate 50 cm l'una dall'altra.



*Figura 4: sistema a minifiltri prima della messa in opera.*

Sotto ad ogni apertura è stato fissato, mediante colla a caldo e fascette, un minifiltro che è costituito da un tubo di materiale plastico di 120 mm di lunghezza e 10 mm di diametro, connesso tramite un adattatore ad un tubicino di 6 mm di diametro che funge da connettore con la superficie.

Il filtro viene riempito con lana di vetro che ha lo scopo di filtrare le particelle più piccole presenti nell'acqua, e ricoperto da una rete di materiale plastico che invece serve a filtrare il materiale più grossolano. Il tubicino di connessione tra il minifiltro e la superficie viene inserito nel tubo guida attraverso le aperture e fatto pervenire fino alla bocca del pozzo. Tutti i tubicini di connessione tra il minifiltro e il piano campagna passeranno all'interno del *riser* in modo da non creare difficoltà durante la messa in opera del sistema. I terminali dei tubicini sono stati numerati in maniera decrescente con la loro profondità in modo da poter riconoscere a quale filtro essi corrispondano.

Il tubo guida, infine, viene avvolto con una calza di nylon che serve per filtrare ulteriormente l'acqua prima che arrivi in contatto con il minifiltro.

La messa in posto del sistema a minifiltri è avvenuta manualmente dal personale del

laboratorio I.G.R.G. attraverso l'utilizzo di un sistema di trivellazione manuale, con l'ausilio di un kit di montaggio, dell'azienda olandese Eijkelkamp<sup>TM</sup> che produce strumenti per la ricerca ambientale, composto da camicie metalliche (*casing* per la perforazione), piccole pedane chiamate *Drilling platforms* e da delle morse che servono per bloccare i segmenti di *casing*.

Per la sperimentazione in campo sono stati delineati un totale di quattro transetti nella Pineta Ramazzotti, costituiti da 16 punti (Tabella 4-1: coordinate geografiche dei minifiltri e altezza su l.m.m. dei piezometri.). Nel dettaglio, come è possibile vedere dalla Figura 5: localizzazione dei minifiltri, i primi tre risultano equidistanziati e rispettivamente costituiti da: 5, 3 e 5 minifiltri. Mentre il quarto, più meridionale, inserito come controllo nella Pineta Verde, è costituito da 3 minifiltri. Ad avvenuta installazione, i tre sistemi sono stati quotati con un rilievo accurato mediante strumentazione GPS avente una precisione di  $\pm 1$  cm, i cui risultati sono mostrati in Tabella 4-1: coordinate geografiche dei minifiltri e altezza su l.m.m. dei piezometri. Infatti, nel nostro specifico caso di studio è stato utilizzato un ulteriore sistema di minifiltri (MF4) posto all'interno della pineta nella zona non colpita dall'incendio facente funzione di gruppo di controllo, rispettando le medesime proporzioni dalla linea di costa (Figura 5)

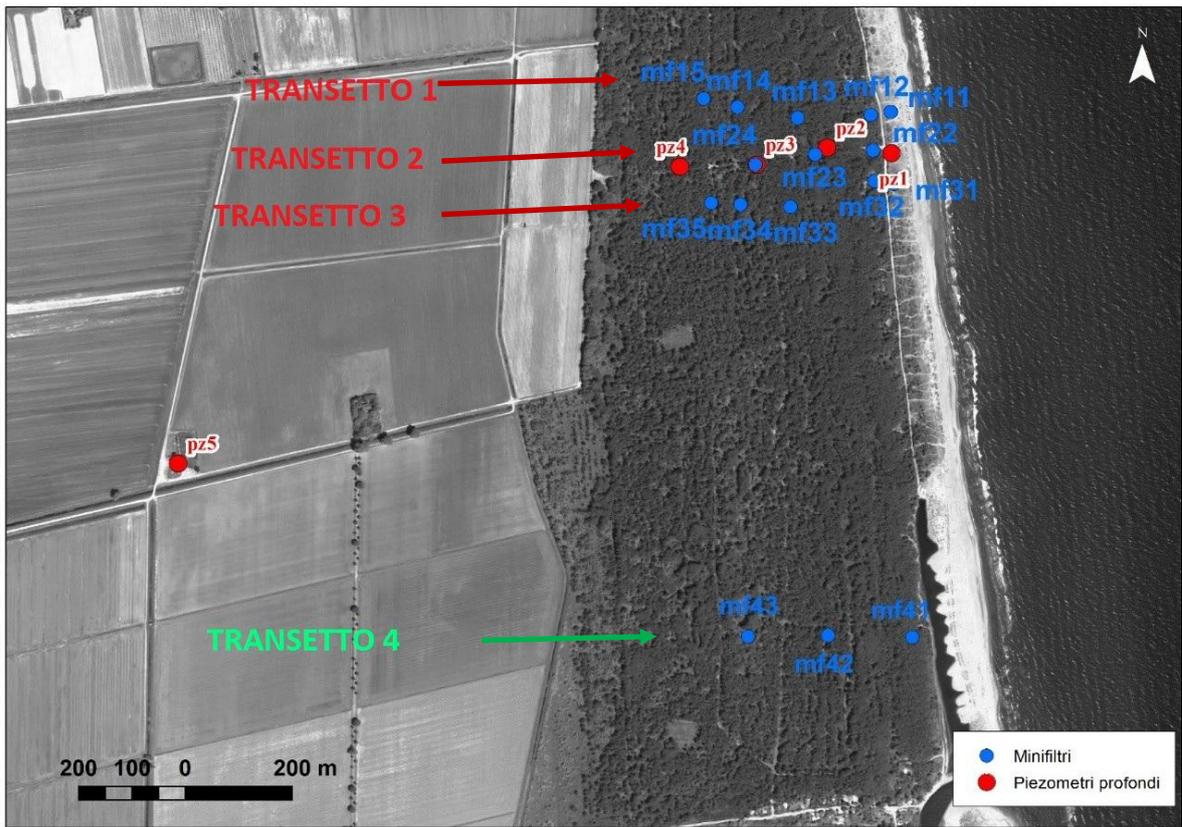


Figura 5: localizzazione dei minifiltri

## 4.2 Monitoraggio della freaticimetria

Il rilievo mensile della profondità della falda, è stato effettuato mediante freaticometro (Figura 6), uno strumento costituito da una sonda di lettura alimentata a batteria che viene calata all'interno del piezometro per mezzo di un cavo centimetrato di 30 m di lunghezza. Il circuito elettrico si chiude nel momento in cui la sonda viene a contatto con la superficie dell'acqua.

Un segnale acustico abbinato, avverte dell'avvenuto contatto con l'acqua e che si può procedere con la lettura della profondità.



*Figura 6: freaticometro*

## 4.3 Raccolta dei campioni

Preventivamente alla raccolta dei campioni per il monitoraggio dei parametri chimico-fisici e quello geochimico, è stato calcolato il volume minimo indispensabile per garantire lo spurgo dei tubicini di ogni singolo minifiltro.

In campo, come prima operazione, è stato collegato il tubicino del minifiltro più superficiale al tubo di una pompa peristaltica mediante un adattatore e successivamente si è operato lo spurgo del tubicino stesso. In seguito, si è passati alla

raccolta del campione all'interno di barattoli in plastica tramite l'utilizzo di una pompa peristaltica (Figura 7).



*Figura 7: prelievo dei campioni mediante pompa peristaltica*

#### **4.4 Monitoraggio diretto dei parametri chimico-fisici delle acque di falda**

Durante la raccolta del campione, all'interno del barattolo di raccolta sono stati immersi gli elettrodi della sonda multi-parametrica. Una volta raggiunta la stabilità, sono stati annotati i valori di pH, temperatura e la conduttività elettrica.

Il monitoraggio dei parametri fisici delle acque è stato eseguito con sonda multiparametrica (Figura 8) che misura la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), la conduttività elettrica (mS/cm) e il pH.

Tutti i parametri di cui sopra sono stati misurati nei sistemi a minifiltri ottenendo un valore per ogni minifiltro all'interno di ogni sistema di campionamento multilivello;

in questo modo è stato possibile ottenere un profilo verticale di salinità mensile per ognuno dei 16 sistemi a minifiltri.



*Figura 8: sonda multiparametrica*

## 5. Risultati

Di seguito riportiamo i risultati ottenuti dall'elaborazione numerica e grafica con software Microsoft Excel dei dati di campionamento rilevati con i minifiltri.

Per la comprensione dei grafici è importante specificare che transetti 1,2 e 3 sono ubicati nella zona di pineta bruciata, dove la vegetazione è assente, mentre il transetto 4 si riferisce ai minifiltri posizionati in quella che in questo capitolo verrà chiamata pineta verde, vale a dire la zona di pineta dove non c'è stato incendio e quindi possiamo ritrovare ancora tutta la vegetazione tipica della pineta intatta.

Nei grafici vediamo rappresentati gli andamenti da mare verso la terra della quota topografica (Z), della tavola d'acqua (Water Table), dei valori di conduttività elettrica e dei valori di pH.

La quota topografica (Z) è relativa a dati precedenti l'intensa mareggiata di febbraio 2015, la quale ha modificato quello che era il profilo topografico che risulta del tutto accurato solo per i dati di novembre 2014. Purtroppo non siamo in possesso di tutti i punti aggiornati per luglio 2015 quindi sono stati utilizzati gli stessi valori precedenti alla mareggiata. Teniamo quindi conto che il profilo reale di luglio dovrebbe essere più appiattito nella zona di duna.

Fatta eccezione per la quota topografica e la tavola d'acqua, i quali dati sono stati presi tal quali, per le altre variabili sono state stabilite delle soglie di valore da rapportare alla profondità alla quale venivano raggiunte per formare delle isolinee.

Le soglie di conduttività sono state stabilite a 3 mS/cm, 10 mS/cm e 30 mS/cm.

La scelta di queste soglie è legata al fatto che sotto i 3 mS/cm siamo in presenza di acque dolci, fra i 3 mS/cm e i 10 mS/cm abbiamo acque leggermente salmastre, fra i 10 mS/cm e i 30 mS/cm abbiamo acque salmastre e al di sopra dei 30 mS/cm le acque sono salate.

In questo modo avremo come risultato un grafico che, avente in ordinata la profondità e in ascissa la distanza dal mare, mostra la sezione rappresentativa dell'andamento della C.E. da mare verso costa, nell'acquifero superficiale.

Per quanto riguarda il pH i valori di soglia stabiliti sono stati 7.5 e 8.

Questo perché 7.5 corrisponde circa al pH delle precipitazioni e 8 a quello dell'acqua di mare.

Allo stesso modo delle isolinee di CE avremo quindi come risultato un grafico che, avente in ordinata la profondità e in ascissa la distanza dal mare, mostra la sezione rappresentativa dell'andamento del pH da mare verso costa, nell'acquifero superficiale.

Prendiamo ora in considerazione l'andamento fra novembre 2014 e luglio 2015 per i singoli transetti 1 2 e 3 che si trovano in pineta bruciata e il transetto 4 situato nella zona di pineta verde.

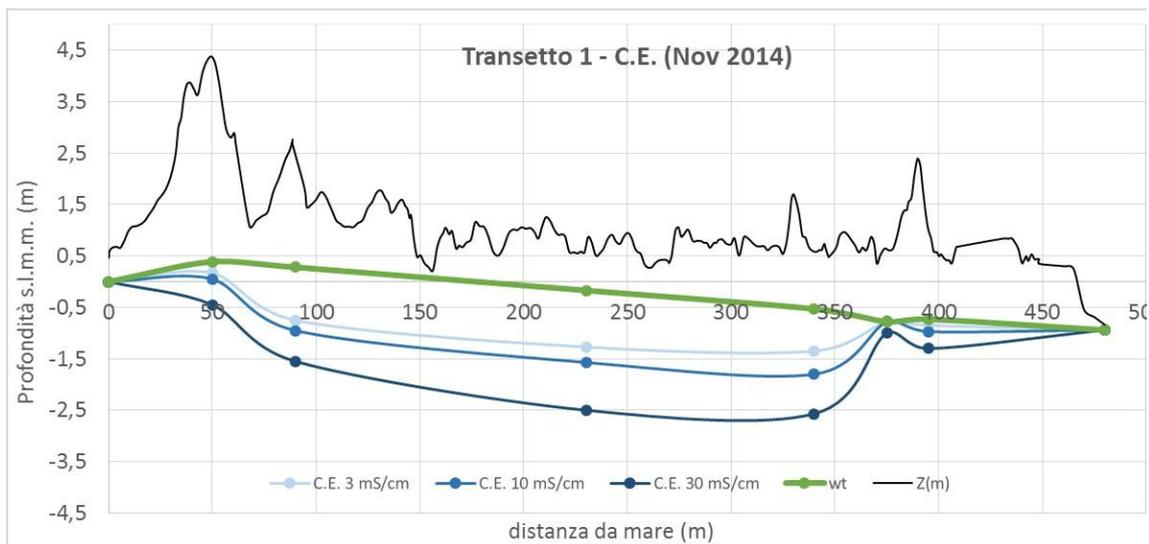


Figura 9: Isolinee di conduttività elettrica nel transetto n.1 nel periodo di Novembre 2014

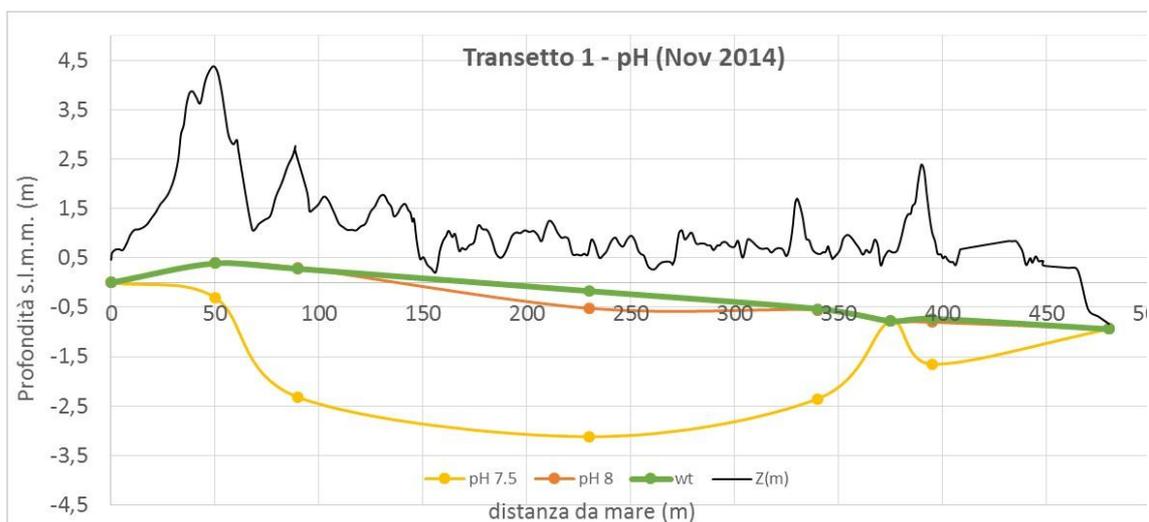


Figura 10: Isolinee di pH nel transetto n.1 nel periodo di Novembre 2014

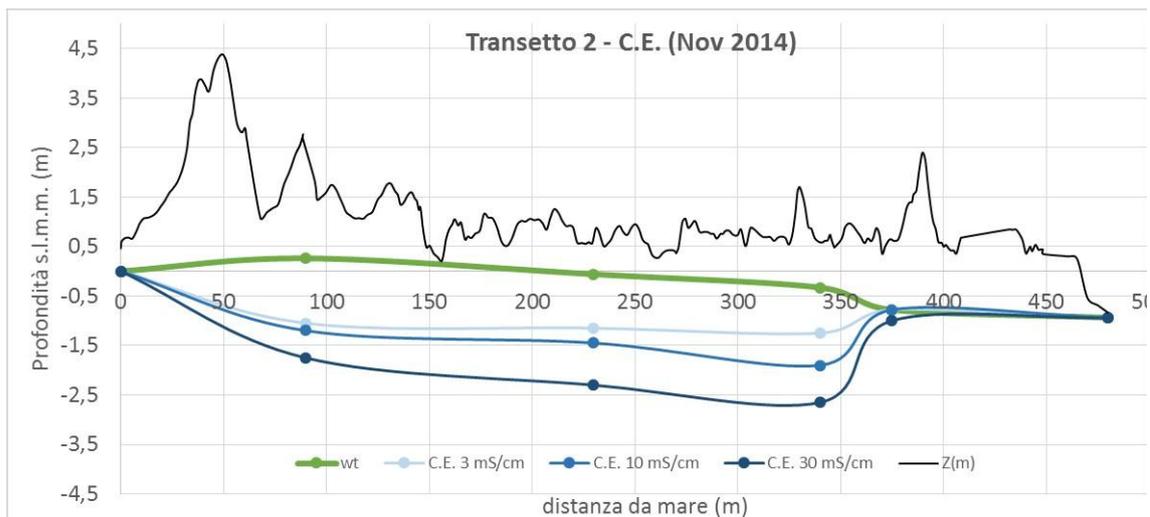


Figura 11: Isolinee di conduttività elettrica nel transetto n.2 nel periodo di Novembre 2014

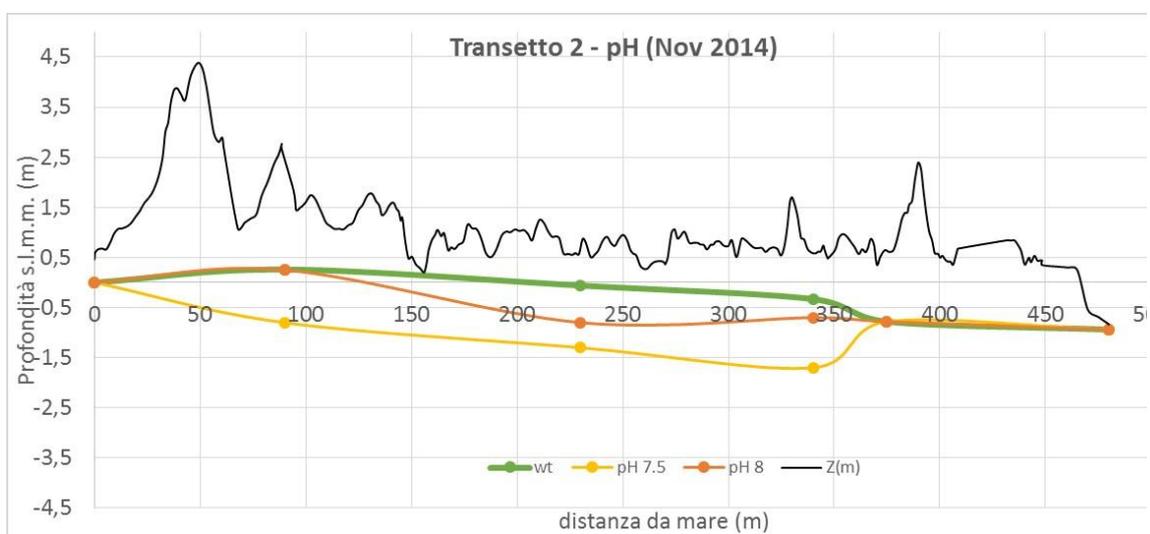


Figura 12 Isolinee di pH nel transetto n.2 nel periodo di Novembre 2014

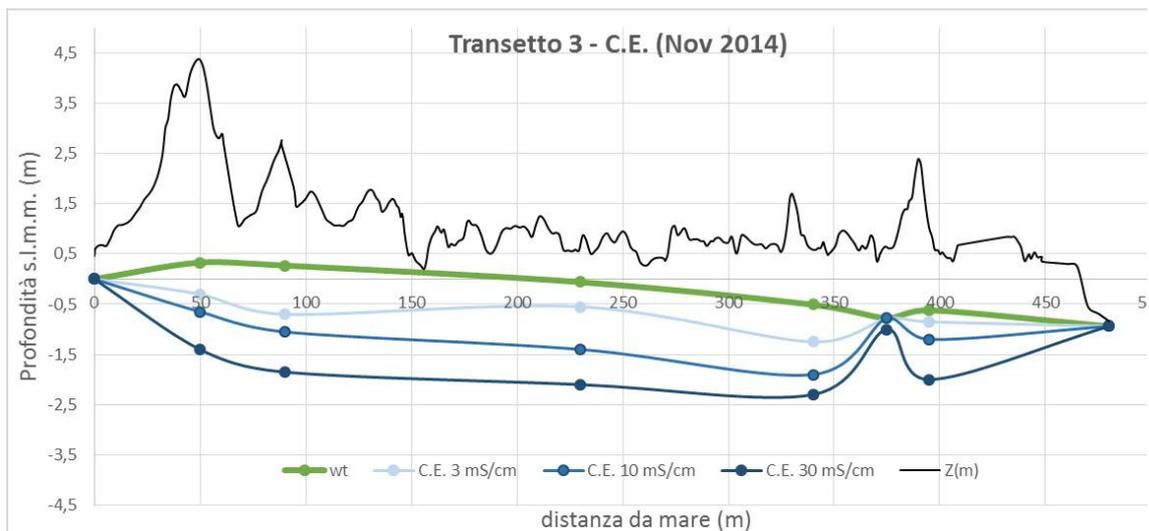


Figura 13 Isolinee di conduttività elettrica nel transetto n.3 nel periodo di Novembre 2014

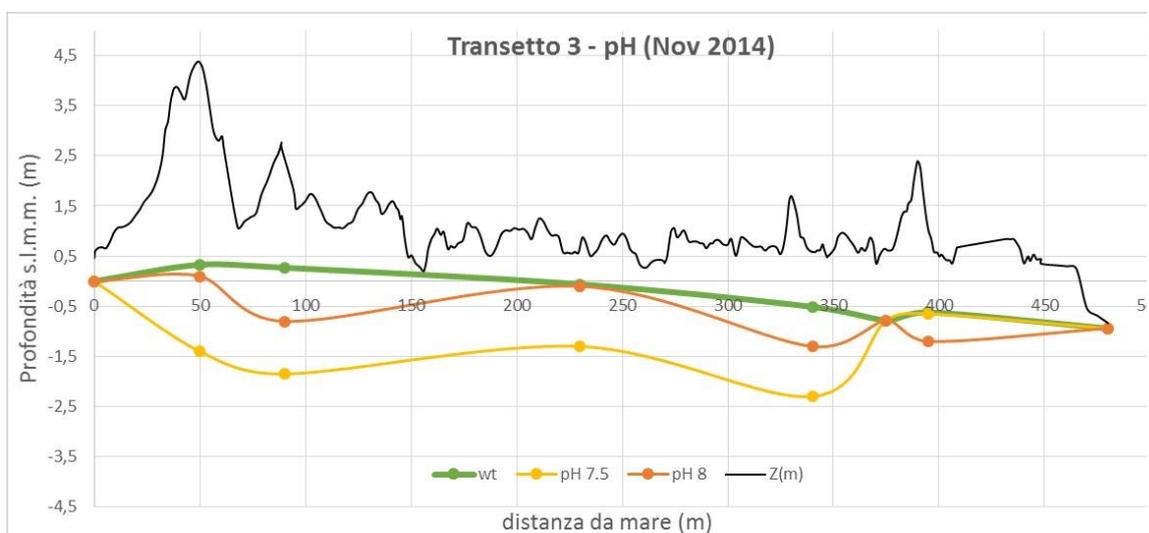


Figura 14 Isolinee di pH nel transetto n3 nel periodo di Novembre 2014

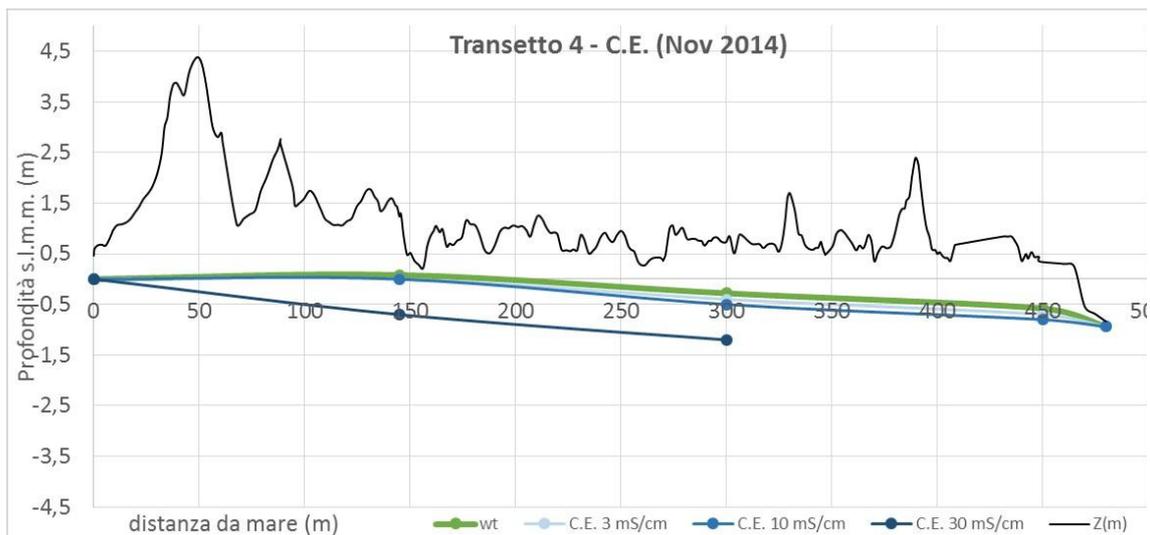


Figura 15 Isolinee di conduttività elettrica nel transetto n.4 nel periodo di Novembre 2014

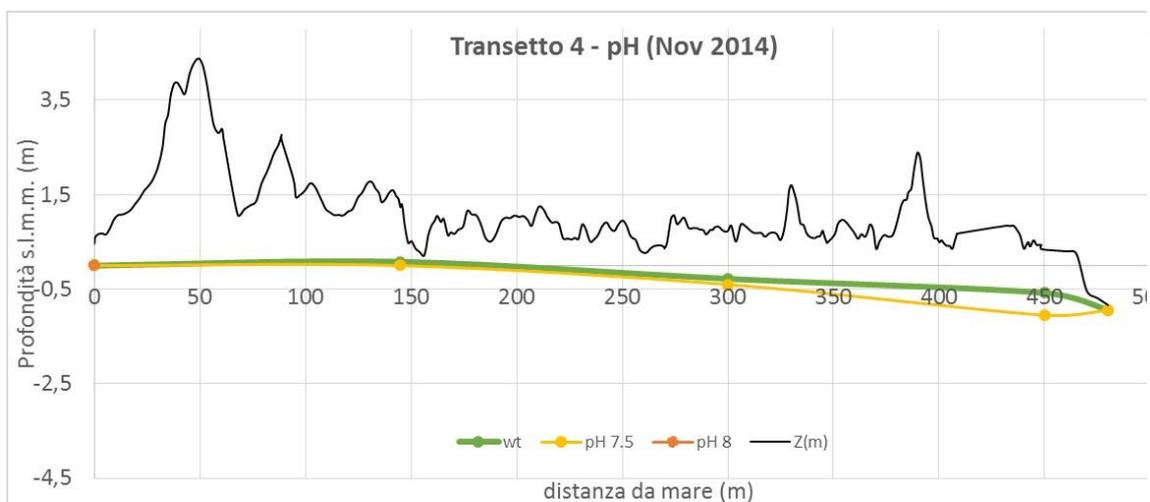


Figura 16 Isolinee di pH nel transetto n.4 nel periodo di Novembre 2014

Possiamo notare un comportamento simile dei valori nei 3 transetti della pineta bruciata, leggermente diversificati fra di loro e sensibilmente differenti dai rilievi della pineta verde

La tavola d'acqua tende a scendere di livello partendo dal mare verso l'entroterra in tutti e 4 i transetti.

Nei primi 3 transetti nella pineta bruciata la WT resta sopra il livello del mare fino a circa 200 metri dalla costa, mentre nella pineta verde tende presto a scendere procedendo da mare verso terra.

La tavola d'acqua mostra inoltre un abbassamento di livello in corrispondenza dei due canali di drenaggio che passano attraverso i primi tre transetti presenti nella porzione bruciata.

Nel prelievo effettuato fra i due canali c'è una leggera risalita della tavola d'acqua, circoscritta appunto su ambedue i lati da una diminuzione della stessa.

Questo risulta meno evidente nel grafico relativo al transetto 2 in quanto, a differenza della serie MF1 e MF3, non c'è alcun minifiltro (MF 2-5) fra i due canali a renderlo evidente.

Il transetto in pineta verde differisce in questo e la tavola d'acqua tende a scendere linearmente fino all'unico canale presente.

Passiamo ora ad esaminare il comportamento della conduttività elettrica in queste 4 modellazioni autunnali.

La distanza fra la tavola d'acqua e la soglia di 3 mS/cm rappresenta la lente d'acqua dolce superficiale ed è spessa circa un metro nei primi due transetti e mezzo metro nel terzo.

La zona salmastra fra i 3 mS/cm e i 30 mS/cm è spessa a sua volta circa un metro in tutti i primi tre transetti, divenendo salata (sopra i 30mS/cm) quasi sempre intorno ai 2,5 m di profondità rispetto al l.m.m.

La curva a 10 mS/cm è distante dalla tavola d'acqua meno di mezzo metro nei primi due transetti, mentre è equidistante dalle altre due. Curve di C.E nel terzo transetto.

In prossimità dei due canali di drenaggio est e ovest c'è una convergenza di tutte le curve di conduttività verso la superficie.

Discorso differente per il transetto in pineta verde che invece presenta una uniformità interna dei dati di C.E., e una grossa differenza rispetto ai dati dei 3 precedenti transetti.

In quest'ultimo la lente di acqua dolce è assente, quindi i valori superiori a 10 mS/cm vengono tutti rilevati in superficie rimanendo costanti fino ai 1,5 metri di profondità rispetto al l.m.m., al di sotto di questa acqua salmastra si trova acqua salata.

Nel minifiltro MF4-3, quello più lontano dal mare la isolinea a 30 mS/cm non viene mai raggiunta fino alla profondità massima campionabile dal minifiltro, in quel punto tutti i rilievi hanno mostrato valori uniformi dalla superficie in poi, intorno ai 20 ms/cm.

Poniamo ora l'attenzione sull'andamento del pH: possiamo notare anche qui una certa uniformità di tendenza fra i primi 3 transetti nella pineta bruciata, il pH 8 viene raggiunto quasi sempre vicino alla superficie della tavola d'acqua, con un solo discostamento in prossimità del punto 4 nel secondo transetto.

Nel primo transetto il pH 8 è raggiunto praticamente in superficie, a meno di mezzo metro dalla tavola d'acqua, nel secondo tende a discostarsi di un metro e mezzo in prossimità del canale est.

Nel terzo transetto la curva a pH 8 si allontana dalla tavola d'acqua di circa 1 metro nel primo e nel quarto minifiltro posti a rispettivamente a 60 m e 350 m dalla costa.

I valori di pH 7,5 sono invece riscontrabili più in profondità, quasi sempre fra il metro e mezzo e due metri e mezzo di profondità rispetto al l.m.m. in tutti i primi 3 transetti,

seguendo perfettamente lo stesso andamento della curva a pH 8, solo a maggiore profondità.

Come per la conduttività in prossimità dei canali di drenaggio le curve di pH tendono a convergere verso la superficie.

Anche in questo caso i dati della pineta verde differiscono sensibilmente dagli altri transetti, in quanto pH anche solo vicini a 8 non vengono ritrovati. Solo in corrispondenza della tavola d'acqua abbiamo valori di pH 7.5.

Questo indica che tutta l'area sotto il mezzo metro di profondità è caratterizzata da un pH inferiore a 7.5.

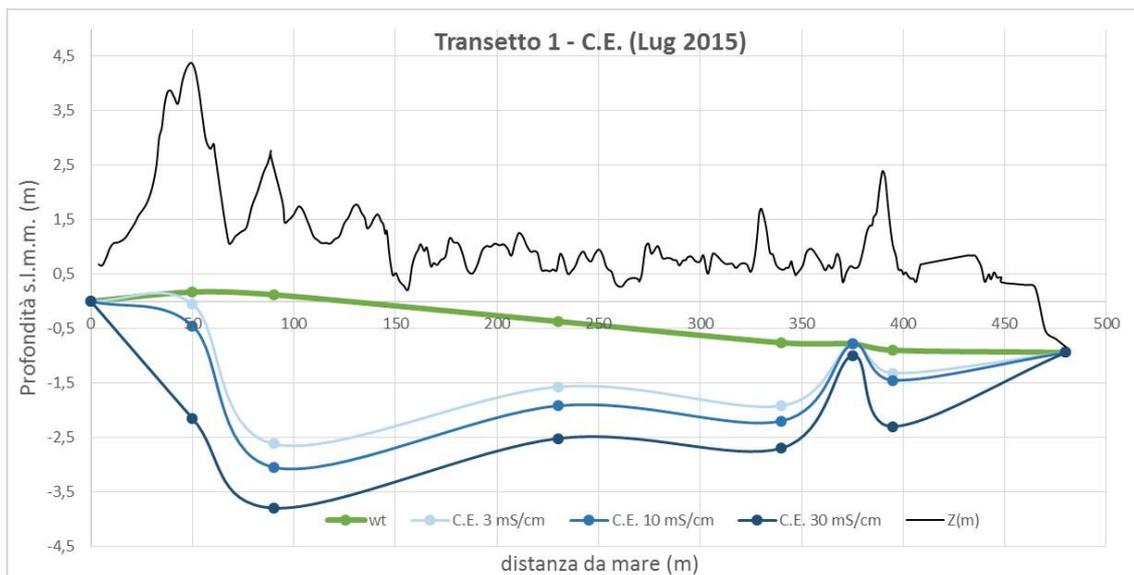


Figura 17: Isolinee di conduttività elettrica nel transetto n.1 nel periodo di Luglio 2015

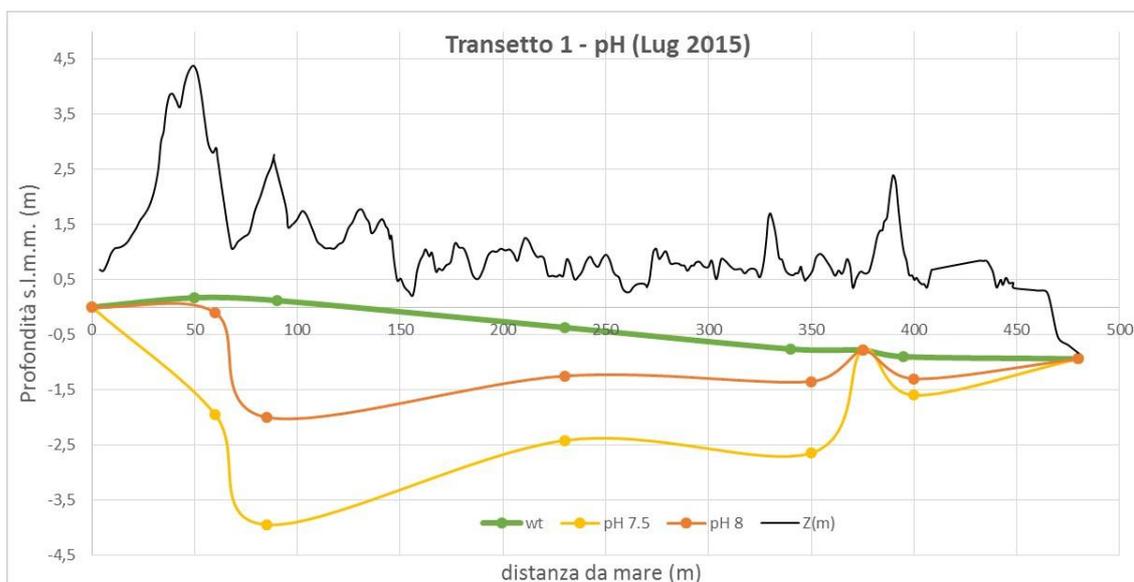


Figura 18: : Isolinee di pH nel transetto n.1 nel periodo di Luglio 2015

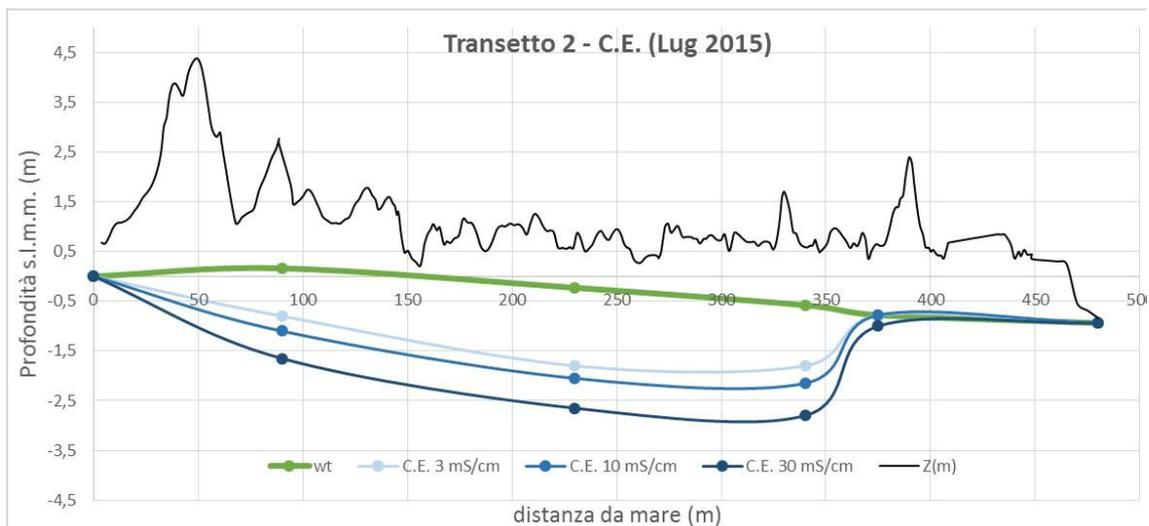


Figura 19: : Isolinee di conduttività elettrica nel transetto n.2 nel periodo di Luglio 2015

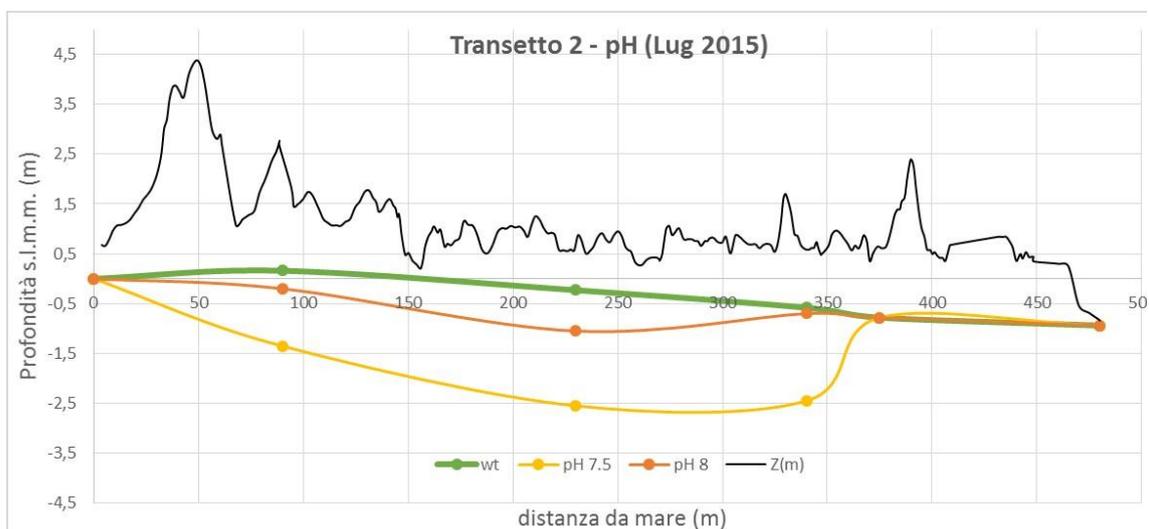


Figura 20: : Isolinee di pH nel transetto n.2 nel periodo di Luglio 2015

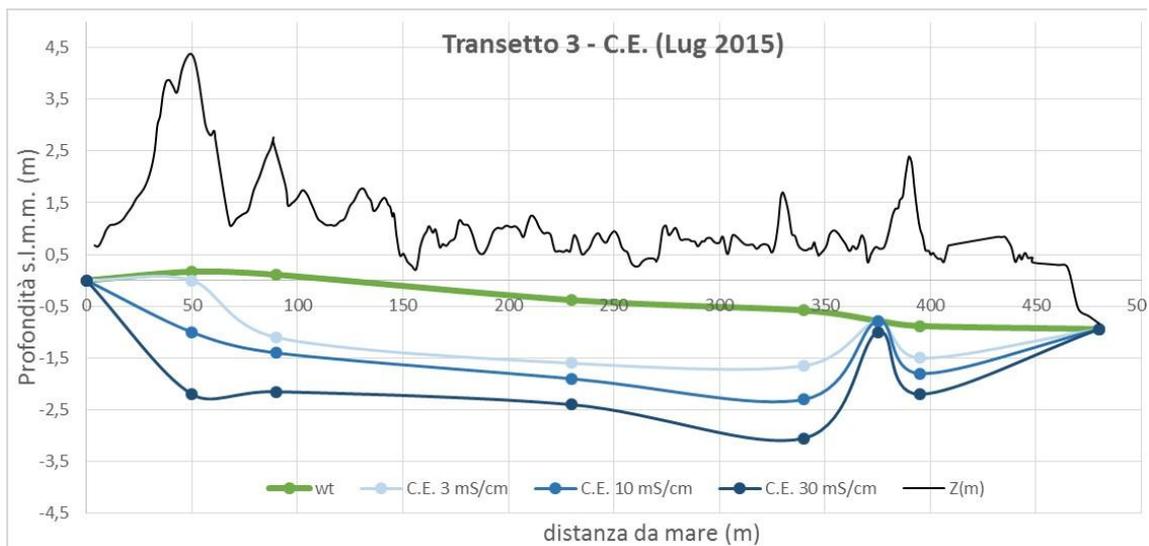


Figura 21: Isolinee di conduttività elettrica nel transetto n.3 nel periodo di Luglio 2015

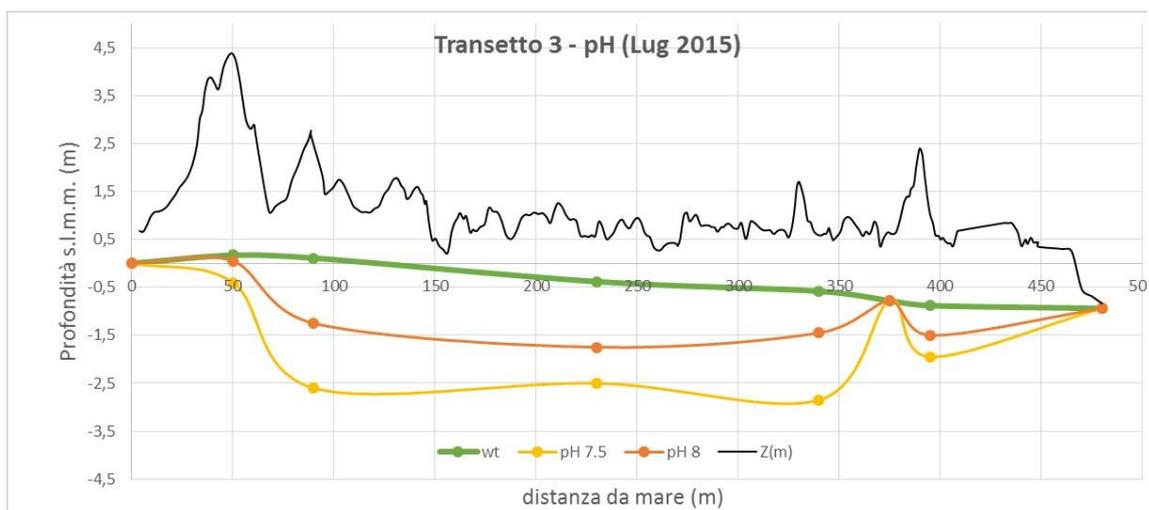


Figura 22: Isolinee di pH nel transetto n3 nel periodo di Luglio 2015

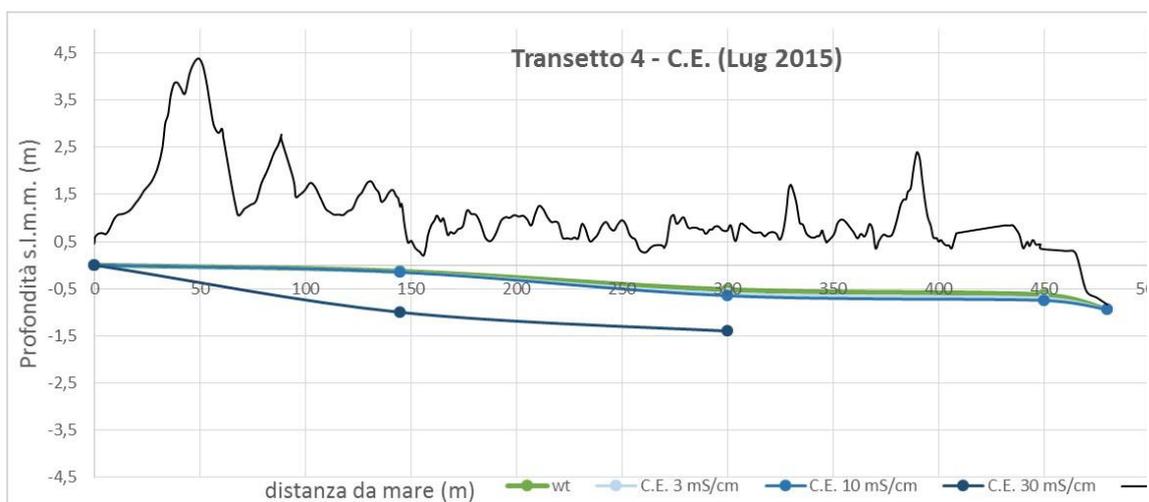


Figura 23: Isolinee di conduttività elettrica nel transetto n.4 nel periodo di Luglio 2015

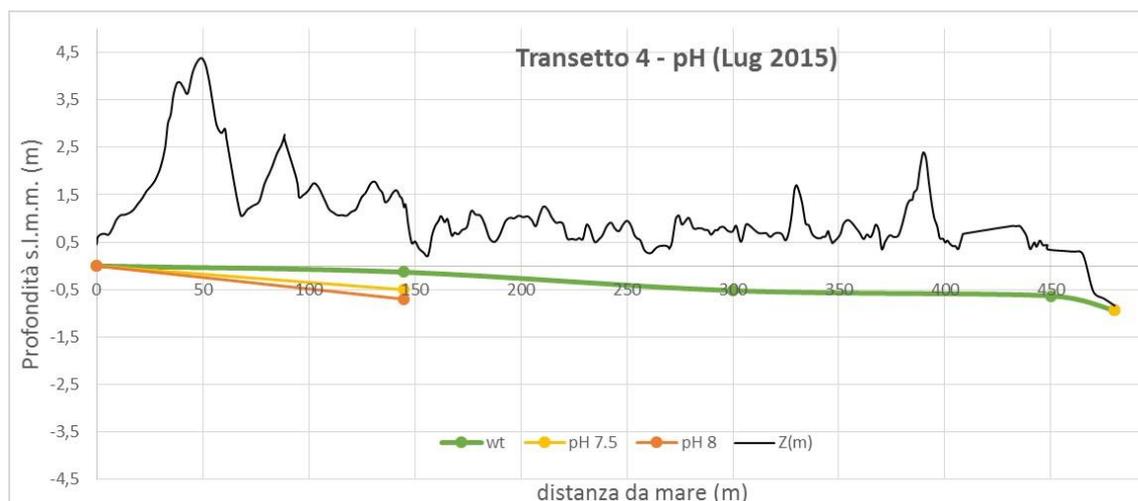


Figura 24: Isolinee di pH nel transetto n.4 nel periodo di Luglio 2015

Osserviamo ora il comportamento degli stessi transetti presi in esame pocanzi, relativi però al periodo estivo dell'anno successivo, luglio 2015.

La tavola d'acqua è discendente dalla zona di duna verso terra, in tutti i casi, nella zona di pineta bruciata tende a scendere sotto il livello del mare dopo circa 150 metri dalla costa, mentre nella pineta verde si assiste allo stesso fenomeno dopo poche decine di metri.

In corrispondenza dei canali di drenaggio abbiamo sempre un abbassamento della falda.

La conduttività elettrica in questo periodo mostra una lente d'acqua dolce, cioè l'intervallo fra la tavola d'acqua e la curva corrispondente ai 3 mS/cm, dello spessore di 1,5 m-2 m nella zona di pineta bruciata.

I valori fra 3 mS/cm, 10 mS/cm e 30 mS/cm, corrispondenti ad acque salmastre, risultano comportarsi analogamente fra loro nel percorso da mare verso terra.

Il primo transetto mostra una lente d'acqua dolce fra la tavola d'acqua e 2,5m di profondità rispetto al l.m.m. che tende ad assottigliarsi verso il canale fino a 1,5 m di profondità.

Osserviamo qui degli strati di acque leggermente salmastre per circa un metro di spessore seguite da un ulteriore strato spesso un metro di acque salmastre fino a raggiungere la soglia dei 30 mS/cm.

Al di sotto di questi strati incontriamo acque salate con C.E. superiore ai 30 mS/cm.

In prossimità dei canali di drenaggio le curve di isoconduttività elettrica convergono tutte verso la superficie.

Nella pineta verde troviamo acque salmastre sin dalla superficie fino a 1,5 m di profondità, con totale assenza di lenti d'acque dolci superficiali lungo tutto il percorso da mare verso terra. Nei dati raccolti dal MF4-3 non viene mai raggiunto il valore di CE 30 ms/cm per questo motivo la isolina si interrompe al secondo minifiltro.

Il pH nella pineta bruciata, nella fase estiva risulta così distribuito.

Abbiamo nei transetti 1 e 3 la linea di isopH 8 a circa 1,5 m al di sotto della tavola d'acqua mentre nel transetto 2, a circa mezzo metro di distanza dalla tavola d'acqua.

La curva di isopH 7.5 si comporta analogamente in tutta la pineta bruciata ma ad una profondità maggiore rispetto alla curva isopH 8, fra 1,5 m e 3 m sotto il l.m.m.

In pineta verde ambedue le soglie di pH si trovano quasi sovrapposte alla tavola d'acqua ma solo fino a 150 m di distanza dal mare.

Le isopH si interrompono a questo punto, e tutta l'area a destra di esse, quindi verso terra, è caratterizzata da pH più bassi, sempre inferiori a 7,5.

Possiamo riscontrare varie analogie e alcune sostanziali differenze fra i due periodi analizzati.

La tavola d'acqua mantiene la caratteristica discendente andando verso terra, in tutti i transetti, ma tende a diminuire un po' di più rispetto al l.m.m. in estate di quanto non sia stato misurato per gli stessi punti nel novembre 2014.

Discorso valido anche per la tavola d'acqua nel transetto 4, anch'essa è leggermente più profonda in estate di quanto non lo fosse nel suo corrispettivo autunnale.

Rimane evidente l'azione dei due canali di drenaggio, nel prelevare acqua abbassando la superficie freatica, per quanto risulti meno spiccato il fenomeno di risalita nell'area fra i due canali in estate piuttosto che in autunno.

Raffrontando la conduttività elettrica nei due periodi notiamo una maggiore porzione di acquifero occupata da acque dolci nel periodo estivo, di fatti la soglia dei 3 mS/cm viene superata a maggiore profondità, lo spessore della lente d'acqua dolce estiva è nettamente maggiore rispetto al dato autunnale, circa un metro di spessore in più.

Anche la curva di isopH 8 viene a trovarsi più in profondità in estate piuttosto che in autunno in tutta la pineta bruciata.

Analogamente la linea di isopH 7,5 si trova circa mezzo metro più in profondità in estate rispetto all'autunno.

Le differenze stagionali per la pineta verde sono molto ridotte, dove in ambedue i periodi le due soglie di C.E. a 3 mS/cm e 10 mS/cm si trovano sovrapposte in superficie, lasciando al di sotto un'ampia zona d'acque salmastre.

Discorso analogo in pineta verde anche per le curve di isopH, isolinea a ph8 assente e isolinea a ph7.5 riscontrabili solo in superficie e vicino al mare., al di sotto di esse e verso terra risultano pH più bassi di 7.5 in tutta l'area.

## 6. Discussione

Passiamo ora a discutere quanto evidenziato nei risultati dal comportamento delle curve rappresentative delle variabili: tavola d'acqua, conduttività elettrica e pH.

La tavola d'acqua tende in tutte le misurazioni fatte a scendere da mare verso terra, questo a causa della particolare situazione idrogeologica ravennate che necessita della presenza delle idrovore per mantenere la città al di sopra del livello della superficie freatica.

Questo fattore spiega il comportamento della tavola d'acqua tipicamente discendente verso terra a causa del drenaggio.

Questa caratteristica della zona provoca la risalita d'acque salate dal sottosuolo.

Oltre a questo la tavola d'acqua ha mostrato altre caratteristiche quali il suo abbassamento in prossimità dei canali di drenaggio, in tutti i transetti e tutte le stagioni.

Comportamento a dimostrazione del fatto che i canali allontanano acqua abbassando la tavola d'acqua e richiamano acqua salata dalle parti più profonde dell'acquifero, infatti in mezzo ai due canali, i dati dei minifiltri MF\*-5 (i minifiltri MF1-5 ed MF3-5 si trovano fra i due canali di drenaggio, circa equidistanti) si può notare una leggera risalita autunnale della tavola d'acqua.

I canali di drenaggio annullano quindi la formazione della lente d'acqua dolce e richiamano acque salate dal fondo dell'acquifero.

I transetti in pineta bruciata tendono a comportarsi similmente in ambedue i periodi di monitoraggio mostrando una lente d'acqua dolce più ampia nella stagione estiva.

Questo è probabilmente dovuto all'assenza di vegetazione a seguito dell'incendio, questa mancanza palesa un incremento dell'infiltrazione ed una diminuzione della evapotraspirazione causata dalla vegetazione che ha permesso la formazione dell'acqua dolce, lente infatti assente nella pineta verde.

L'effetto della vegetazione è quindi chiaro dal confronto con i dati della pineta bruciata che mostrano la formazione di lenti d'acqua dolce in condizioni di minor evapotraspirazione rispetto alla pineta verde.

Lo spessore della lente d'acqua dolce nella pineta bruciata è stranamente maggiore nel periodo estivo, la ragione di questo fenomeno è da ricercare nei dati pluviometrici (Figura 25).

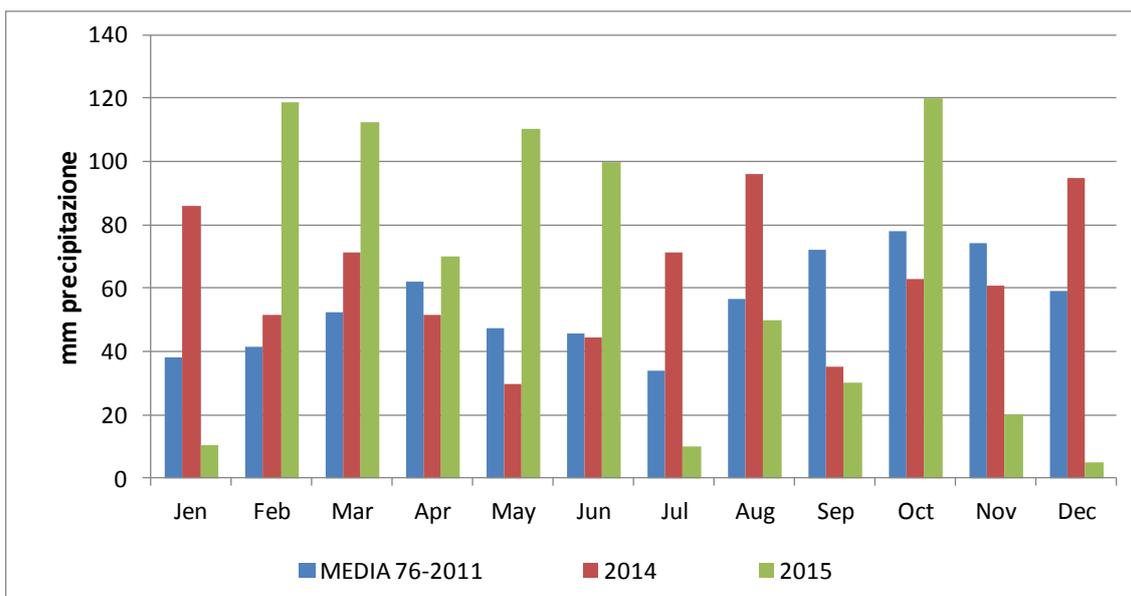


Figura 25: dati pluviometrici relativi al biennio in cui è avvenuto il monitoraggio e alla media dei 40 anni

Come possiamo vedere in Figura 25, ottobre e novembre 2014 sono stati molto vicini alla media dei 40 anni, mentre dopo il gennaio poco piovoso si sono visti 5 mesi con precipitazioni abbondantemente sopra la media. Culminando poi in un luglio molto secco, che non ha però inficiato l'aumento di ricarica dell'acquifero mostrata dall'espansione delle lenti di acqua dolce fra novembre e luglio.

Infine suggeriamo che le differenze idrologiche riscontrate all'interno dei transetti della pineta bruciata siano da attribuirsi alla topografia.

La lente d'acqua dolce ad ogni modo spinge il cuneo salino verso il basso, come mostrato dall'approfondimento della curva a iso C.E. 30 mS/cm.

L'assenza della lente d'acqua dolce nella pineta verde in ambedue le stagioni conferma l'impatto dell'evapotraspirazione da parte della vegetazione indipendentemente dalla quantità di precipitazioni.

Passiamo ora a discutere i dati di pH:

L'incendio ha accumulato ceneri in superficie, i cui componenti sono andati lentamente in soluzione durante le precipitazioni.

Un pH 8 infatti non dovrebbe essere presente nelle lenti d'acqua dolce, in quanto tipico delle acque marine, suffragando l'ipotesi di basificazione delle acque a causa delle ceneri.

Notiamo che l'acqua a isopH 8 viene spinta verso il basso, fenomeno reso palese dall'aumento di spessore della lente d'acqua dolce avvenuto fra l'autunno e l'estate.

Nella pineta verde si assiste a una mancanza di dati della curva isopH 8 al contrario della zona bruciata.

Questo suffraga la teoria della basificazione delle zona sottoposta ad incendio a causa delle ceneri, che spinte in profondità dall'acqua hanno creato il profilo a isopH 8 evidenziato nei transetti 1,2 e 3.

Possiamo notare come nella zona bruciata, l'aumento della ricarica d'acqua dolce in estate abbia fatto approfondire la curva a isopH 8 e iso pH 7.5

Nella zona verde il pH è quasi sempre inferiore a 7.5. Questa maggiore acidità rilevata nell'acquifero è dovuta, oltre all'assenza delle ceneri dell'incendio, alla presenza dei pini.

Gli aghi di pino vanno incontro a degradazione e a seguito del dilavamento ed infiltrazione causato dalle acque meteoriche contribuiscono all'acidificazione del terreno mostrata. (Alfredsson, Condron, Clarholm, & Davis, 1998);

## **7. Conclusioni**

Possiamo quindi affermare che l'incendio ha sensibilmente modificato l'acquifero superficiale costiero grazie al confronto fra i risultati ottenuti in pineta bruciata e quelli della pineta verde.

L'assenza di vegetazione successiva all'incendio ha eliminato il prelievo di acque da parte della vegetazione, mostrando una tavola d'acqua più alta e la formazione di lenti d'acqua dolce superficiali, non riscontrabili nella pineta verde.

Le ceneri residue dell'incendio hanno modificato il pH delle acque superficiali, fatto dimostrato dai valori di pH8 che sarebbero normalmente caratteristici dell'acqua di mare e che qui invece vengono ritrovati in corrispondenza di lenti di acqua dolce superiori a quelli delle precipitazioni riscontrati all'interno di lenti d'acqua dolce.

Una effettiva basificazione dell'acquifero è quindi avvenuta a causa del dilavamento delle ceneri accumulate in superficie, infatti non troviamo pH tipici delle acque meteoriche.

Il mancato riscontro di questo fenomeno nella zona di controllo in pineta verde conferma la tesi.

I canali di drenaggio indipendentemente dalla stagione e dalle precipitazioni allontanano le acque dolci richiamando acque salate dall'acquifero più profondo, questo contribuisce alla salinizzazione dell'acquifero e al depauperamento delle risorse di acqua dolce.

## 8. Bibliografia

- Alfredsson, Condron, Clarholm, & Davis. (1998). Changes in soil acidity and organic matter following the establishment. *Forest Ecology and Management*, p. 251.
- Amorosi, Asioli, Bondesan, Cibin, Colalongo, Correggiari, . . . Vincenzi. (2002). *Dalle conoidi pedemontane al mare aperto: architettura stratigrafica tardo-quadernaria dell'Adriatico settentrionale e della pianura costiera emiliano-romagnola*. Le pianure: conoscenza e salvaguardia. Ferrara: Il contributo delle Scienze della Terra.
- Amorosi, Colalongo, Pasini, & Preti. ( 1999). Sedimentary response to late Quaternary sea-level changes in the Roamagna coastal plain (Northern Italy). *Sedimentology* , 46, 99–121.
- Antonellini, & Mollema. (2010). Impact of groundwater salinity on vegetation species richness in the coastal pine forests and wetlands of Ravenna, Italy. *Ecological Engineering*.
- Antonellini, Mollena, Giambastini, Bishop, Caruso, Minchio, . . . Gabbianelli. (2008). Salt water intrusion in the coastal aquifer of southern Po Plain, Italy. *Hydrogeology journal*.
- Antonellini, Mollena, Giambastini, Bishop, Caruso, Minchio, . . . Gabbianelli. (2008). Salt water intrusion in the coastal aquifer of southern Po Plain, Italy. *Hydrogeology journal*.
- Appelo, & Postma. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution*.
- Badon-Ghijben, W. (1888). *Nota in verband met de voorgenomen putboring nabij Amsterdam*.

- Bondesan, Favero, & Vignals. ( 1995). New evidence on the evolution of the Po-delta coastal plain during the Holocene:. *Quat Int*, 29/30, 105–110.
- Calatace, Fratini, Guerra, Pascarella, & Zampetti. (2007). *Manuale per le indagini ambientali nei siti contaminati*. Manuali e linee guida. APAT .
- Cherry, Gillham, Anderson, & Johnson. (1983). Migration of Contaminants in Groundwater at a Landfill: A Case Study - 2. Groundwater Monitoring Devices. *Journal of Hydrology*, 31-49.
- Davis, & Barber. (1994). *Monitoring and Sampling Methods*.
- Ganderton, & Coker. (2005). *Enviromental Biogeograpy*. Pearson Prentice Hall.
- Giambastiani B.M.S., A. M. (2007). Saltwater intrusion in the unconfined coastal aquifer of Ravenna (Italy): a numerical model. *Journal of Hydrology*.
- Giambastiani, Greggio, Pacella, Iodice, & Antonellini. (2014). Effect of forest fire on coastal aquifer salinisation and freshwater availability. *23nd SWIM - Salt Water Intrusion Meeting*, (p. 125-128). Husum, Germany.
- Greggio, N. (2013). Individuazione di tecniche di gestione idrica-agronomica e di ricarica dell'acquifero freatico costiero per limitare la salinizzazione delle acque sotterranee e dei suoli. *Dottorato di ricerca in Scienze Ambientali: tutela e gestione delle risore naturali Ciclo XXV*.
- Herzberg. (1901). *Die wasserversorgung einiger Nordseebader*.
- Keely, & Boateng. (1987). *Monitoring Well Installation, Purging, and Sampling Techniques - Part 1: Conceptualisations*.
- Lerner, & Teutsch. (1995). Recommendations for level-determined sampling in wells. *Journal of Hydrology*, 355-377.

- Neilsen, & Yeates. (1985). *A Comparison of Sampling Mechanisms Available for Small-Diameter Ground Water Monitoring Wells.*
- Pickens, Cherry, Grisak, Merritt, & Risto. (1978). *A multilevel device for groundwater sampling and piezometric monitoring.*
- Press, & Siever. (1997). *Capire la Terra.* Zanichelli.
- Repubblica Italiana. (2006). *Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152.*
- Stites, & Chambers. (1991). *A Method for Installing Miniature Multilevel Sampling Wells. Ground Water.*
- Stuyfzand. (1983). *Belangrijke foutenbronnen bij bemonstering van grondwater via peil- en minifilters.*
- Van Husen, D. (2004). *Developments in Quaternary Sciences.* In D. Van Husen, *Developments in Quaternary Sciences.* Elsevier.
- Veggiani. (1974). *Le ultime vicende geologiche del Ravennate. Influenza di insediamenti industriali sul circostante ambiente naturale. Studio sulla pineta di S. Vitale di Ravenna.* Bologna: Ed. Compositori.