

POLITECNICO DI TORINO

I Facoltà
Scuola di dottorato
Dottorato di Ricerca in Ambiente e Territorio
Settore Disciplinare – Analisi Geoterritoriali e Protezione e Gestione
Ambientale
XXVI Ciclo

Tesi di dottorato

L'interazione dei grandi scavi in sotterraneo con gli acquiferi



Dottorando: Ing. Federico Marchionatti

Tutore: Prof. Bartolomeo Vigna

Torino, aprile 2014

INDICE

1. INTRODUZIONE	6
2. SCOPO, METODOLOGIA E STRUTTURA DEL DOCUMENTO	9
3. PROBLEMI TRA OPERE IN SOTTERRANEO E ACQUIFERI – ESEMPI SIGNIFICATIVI.....	13
3.1. ALTA VELOCITÀ MILANO – NAPOLI	13
3.1.1. INQUADRAMENTO DELL’OPERA	13
3.1.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO.....	14
3.1.3. IL MONITORAGGIO IDROGEOLOGICO E GLI IMPATTI SULLE RISORSE IDRICHE	15
3.1.4. COMMENTI AL CASO STUDIO	18
3.2. TUNNEL HSUEH-SHAN	18
3.2.1. INQUADRAMENTO DELL’OPERA	18
3.2.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROLOGICO.....	19
3.2.3. IMPATTO SULLE RISORSE IDRICHE	22
3.2.4. COMMENTI AL CASO STUDIO	23
3.3. IL TUNNEL DEL GRAN SASSO	23
3.3.1. INQUADRAMENTO DELL’OPERA	23
3.3.2. IMPATTO SULLE RISORSE IDRICHE	24
3.3.3. COMMENTI AL CASO STUDIO	25
4. LA LEGISLAZIONE SUL MONITORAGGIO AMBIENTALE	26
4.1. L’IMPORTANZA DEL MONITORAGGIO AMBIENTALE.....	26
4.1.1. IL MODELLO DPSIR	26
4.2. NORMATIVA SUL MONITORAGGIO AMBIENTALE	29
4.2.1. NORMATIVA COMUNITARIA	29
4.2.1.1. POLITICA AMBIENTALE EUROPEA IN MATERIA AMBIENTALE.....	29
4.2.1.2. STRUMENTI E PROGRAMMI EUROPEI PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE	30
4.2.1.3. DIRETTIVA 2000/60/CE (DIRETTIVA QUADRO SULLE ACQUE – DQA)	32
4.2.1.4. DIRETTIVA 2006/118/CE	47
4.2.1.5. DIRETTIVA 2008/105/CE	50
4.2.1.6. DIRETTIVA 2009/90/CE	53
4.2.2. NORMATIVA NAZIONALE	54
4.2.2.1. D.Lgs. 152 del 3 aprile 2006 – Norme in materia ambientale.....	54
4.2.2.2. D.Lgs. 163 del 12 aprile 2006 - Codice appalti	57
4.2.2.3. Altri riferimenti normativi	58
4.2.3. LINEE GUIDA	60
4.3. NORMATIVA SULLA QUALITÀ DELLE ACQUE	62
4.4. ORGANIZZAZIONE E PRINCIPI DI UN PMA.....	65
4.4.1. COMPONENTI AMBIENTALI OGGETTO DEL PMA	68
4.4.2. ARTICOLAZIONE TEMPORALE DEL MONITORAGGIO	68

4.4.3. RESTITUZIONE DEI DATI	69
4.5. PIANO DI MONITORAGGIO PER LA COMPONENTE IDRICA	70
<u>5. LA LEGISLAZIONE SUGLI SCARICHI</u>	<u>72</u>
<u>6. TECNICHE E STRUMENTI DI MONITORAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE.....</u>	<u>76</u>
6.1. PREMessa.....	76
6.2. MISURE IN SITO E STRUMENTAZIONE.....	77
6.2.1. LE MISURE MANUALI.....	79
6.2.2. LE MISURE AUTOMATICHE	81
6.2.3. LE MISURE DEGLI APPORTI	84
6.2.4. LA RISOLUZIONE STRUMENTALE	86
6.2.5. INSTALLAZIONE DEGLI STRUMENTI.....	87
6.3. AGGRESSIVITÀ DELLE ACQUE	89
6.3.1. METODI PER LA DETERMINAZIONE DELL'AGGRESSIVITÀ DELLE ACQUE	90
6.3.2. RIFERIMENTI NORMATIVI.....	93
6.3.3. ATTACCO SOLFATICO	94
6.4. IL RADON NELLE ACQUE.....	95
6.4.1. RN-222	95
6.4.2. MISURAZIONE DEL RADON	97
6.5. TEST CON TRACCIANTI	98
6.5.1. ESECUZIONE ED INTERPRETAZIONE DEL TEST	102
<u>7. MODELLI CONCETTUALI DEGLI ACQUIFERI</u>	<u>106</u>
7.1. PREMessa.....	106
7.2. I SISTEMI ACQUIFERI.....	106
7.3. MODELLI CONCETTUALI DI FUNZIONAMENTO DEGLI ACQUIFERI	109
7.3.1. SISTEMI CON ELEVATA VELOCITÀ DI FLUSSO	109
7.3.1.1. Studio della dinamica delle acque.....	110
7.3.1.2. Studio della risposta chimico-fisica	110
7.3.1.3. Analisi chimiche.....	111
7.3.1.4. Interferenze con un'opera sotterranea	112
7.3.2. SISTEMI CON MODERATA VELOCITÀ DI FLUSSO	113
7.3.2.1. Studio della dinamica delle acque.....	113
7.3.2.2. Studio della risposta chimico-fisica	114
7.3.2.1. Analisi chimiche.....	114
7.3.2.2. Interferenze con un'opera sotterranea	115
7.3.3. SISTEMI CON BASSA VELOCITÀ DI FLUSSO.....	116
7.3.3.1. Studio della dinamica delle acque.....	116
7.3.3.2. Studio della risposta chimico-fisica	117
7.3.3.1. Analisi chimiche.....	117
7.3.3.2. Interferenze con un'opera sotterranea	118
7.4. MODELLO RELATIVO ALLA CIRCOLAZIONE DELLE ACQUE IN AMMASSI GESSOSI	119

7.4.1.	SISTEMA ACQUIFERO A DRENO DOMINANTE.....	120
7.4.1.1.	La sorgente del Rio Basino	120
7.4.1.	SISTEMA ACQUIFERO A DRENI INTERCONNESSI	121
7.4.1.1.	L'acquifero impostato nei gessi di moncalvo	121
7.4.2.	SISTEMA ACQUIFERO A CIRCOLAZIONE DISPERSIVA	121
7.4.2.1.	L'acquifero impostato nei gessi di calliano	121
7.5.	MODALITÀ DI ALIMENTAZIONE DI UN SISTEMA ACQUIFERO	122
7.5.1.	SISTEMI AD ALIMENTAZIONE PRIMARIA PREVALENTE	123
7.5.1.1.	Acquifero carsico – Sistema alimentante la sorgente delle Fuse.....	123
7.5.1.2.	Acquifero poroso – Sistema alimentante la sorgente del Laghetto del Marguareis	125
7.5.1.3.	Analisi delle temperature delle sorgenti ad alimentazione primaria	127
7.5.2.	SISTEMI AD ALIMENTAZIONE PRIMARIA E SECONDARIA.....	128
7.5.2.1.	Acquifero carsico - Sistema alimentante la sorgente di Borello superiore.....	129
7.5.2.2.	Acquifero poroso – Sistema alimentante la sorgente di Balmetta	131
7.5.2.1.	Analisi delle temperature delle sorgenti ad alimentazione primaria e secondaria	133
7.5.3.	SISTEMI AD ALIMENTAZIONE SECONDARIA PREVALENTE	134
7.5.3.1.	Acquifero carsico - Sistema alimentante la sorgente del Bandito	135
7.5.3.2.	Acquifero poroso - Sistema alimentante la sorgente di Borello inferiore	136
7.5.3.1.	Analisi delle temperature delle sorgenti ad alimentazione secondaria.....	138
8.	CASI STUDIO.....	140
8.1.	L'ACQUIFERO IMPOSTATO NEI GESSI DI MONCALVO.....	140
8.1.1.	PREMESSA	140
8.1.2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	140
8.1.3.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	142
8.1.4.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	143
8.1.5.	SITUAZIONE IDROGEOLOGICA PRE-INRUSH.....	146
8.1.6.	L'INRUSH.....	148
8.1.7.	DESCRIZIONE DELLA RETE DI MONITORAGGIO E CONTROLLO	163
8.1.7.1.	Rete di monitoraggio dei livelli idrici.....	163
8.1.7.2.	Rete di controllo chimico-fisico delle acque	176
8.1.8.	INTERPRETAZIONE DEI DATI E CONSIDERAZIONI GENERALI.....	193
8.1.9.	IL RADON PRESSO LA CAVA DI MONCALVO.....	201
8.1.10.	LE ACQUE DI SCARICO DELLA CAVA	204
8.2.	L'ACQUIFERO IMPOSTATO NEI GESSI DI CALLIANO	209
8.2.1.	PREMESSA	209
8.2.2.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	210
8.2.3.	LE SORGENTI NEL SETTORE PROSSIMO ALL'AREA DI CAVA DI CALLIANO.....	213
8.2.4.	DESCRIZIONE DELLA RETE DI MONITORAGGIO E CONTROLLO	216
8.2.4.1.	Rete di monitoraggio dei livelli idrici.....	216
8.2.4.2.	Rete di controllo chimico-fisico delle acque	228
8.2.5.	INTERPRETAZIONE DEI DATI E CONSIDERAZIONI GENERALI.....	239
8.2.6.	LE ACQUE DI SCARICO DELLA CAVA	243
8.3.	ACQUIFERO IMPOSTATO NEL MASSICCIO DEL COLLE DI TENDA	252
8.3.1.	PREMESSA	252

8.3.2.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	252
8.3.1.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	254
8.3.2.	LA SORGENTE DI TENDA.....	256
8.3.3.	MONITORAGGIO IDROGEOLOGICO	260
8.3.3.1.	Misure piezometriche in corrispondenza del futuro tracciato	260
8.3.3.2.	Studio della risposta chimico-fisica	263
8.3.3.3.	Collegamento idrico con la sorgente del Tenda.....	266
8.3.3.4.	Degrado quantitativo della risorsa idrica.....	267
8.3.3.5.	Le miscele cementizie e il degrado qualitativo della risorsa idrica	267
8.3.4.	CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI GENERALI.....	274
8.4.	CASO STUDIO IN VAL SUSA	276
8.4.1.	IL METODO DHI.....	276
8.4.2.	AREA DI STUDIO E MISURE IN SITU.....	282
8.4.3.	LA VARIANTE DEL DHI PER I CORSI D'ACQUA	285
8.4.4.	CONSIDERAZIONI SULL'INDICE DHI.....	287
9.	CONCLUSIONI DELLA RICERCA.....	288
10.	BIBLIOGRAFIA.....	293

1. INTRODUZIONE

L'Italia, per morfologia del suo territorio, è il paese europeo con il maggior numero di gallerie e nel mondo è secondo solo al Giappone. Considerando la rete Tern (Trans european road network, l'insieme delle strade strategiche per lo sviluppo europeo), sul nostro territorio c'è il 60% delle gallerie dell'Ue. L'Austria, al secondo posto, è all'11%, la Germania è all'8% e la Francia al 7 per cento. In dettaglio, sulla rete Tern si hanno 649 chilometri di tunnel in esercizio, 188 chilometri in fase di realizzazione e 131 chilometri in progettazione. Per un totale di quasi mille chilometri complessivi, in continuo aumento.

I lavori di costruzione di opere in sotterraneo sono generalmente complessi, si protraggono per più anni e possono essere fonte di impatti ambientali e sociali rilevanti. La correttezza delle soluzioni ingegneristiche, nella progettazione di moderne opere in sotterraneo, deve sempre più essere influenzata dai fattori ambientali che possono essere sia positivi che negativi. Gli impatti di un'opera possono avvenire tanto durante la fase di costruzione quanto nel corso degli anni di vita utile.

I principali effetti negativi prodotti da un'opera in sotterraneo possono essere sinteticamente ricondotti all'elenco di seguito (Civita, De Maio, Fiorucci, Pizzo, & Vigna, 2002):

- maggiori costi di costruzione e manutenzione, in generale, rispetto ai lavori in superficie
- generazione di vibrazioni durante la fase di costruzione e durante l'esercizio
- creazione di smaltire da smaltire
- alterazioni accidentali di manufatti archeologici
- emissioni di gas nocivi
- alterazione del paesaggio, limitate agli accessi/imbocchi
- alterazione della flora sotterranea
- potenziale depauperamento delle risorse idriche
- inquinamento delle risorse idriche legato in particolar modo ai materiali di consolidamento (cementi, resine, ecc)
- sicurezza dello scavo sotterraneo e delle infrastrutture in superficie

Nonostante ciò, spesso la scelta di costruire in sotterraneo risulta ambientalmente più accettabile per i vari effetti positivi che essa comporta:

- minore impatto visivo sul paesaggio
- diminuzione dell'inquinamento acustico
- diminuzione del danneggiamento della fauna e della vegetazione superficiale
- minore creazione di barriere biologiche
- riduzione degli effetti sull'idrografia principale
- miglioramento della pianificazione dei centri urbani
- riduzione dell'occupazione delle aree superficiali

Lo studio realizzato nell'ambito del dottorato di ricerca analizza i problemi che le opere in sotterraneo comportano in ambito idrogeologico e cerca di delineare un approccio metodologico al fine di ridurre i possibili impatti.

Il problema dell'interazione tra lo scavo di una galleria e le acque sotterranee assume grande rilevanza per la necessità di salvaguardare le risorse idriche dai rischi di depauperamento e di inquinamento indotti durante lo scavo e in condizioni di esercizio delle gallerie. Realizzando una galleria che intercetta un acquifero, occorre scegliere se le operazioni di scavo possano avvenire sottofalda, e quindi impedendo il drenaggio dell'acquifero, o se tale acquifero possa essere drenato per facilitare le operazioni di scavo. A guidare tale scelta sono sia i metodi di scavo utilizzati che le condizioni geologiche, idrogeologiche e geotecniche (che devono pertanto essere individuate in fase di indagine).

Inoltre il problema di interazione delle opere in sotterraneo deve essere posto non solo con riferimento ai problemi di depauperamento e di inquinamento delle acque stesse ma anche alla variazione delle preesistenti condizioni naturali di flusso negli ammassi rocciosi. Tipici sono i fenomeni di cedimenti indotti in superficie (subsidenza e sinkhole).

Lo scavo di un grande vuoto sotterraneo costituisce sempre una notevole turbativa delle condizioni idrogeologiche della roccia all'intorno dello scavo stesso, un processo che si realizza con una velocità un milione di volte superiore a quella di un qualunque fenomeno geologico. La conseguenza, diretta e visibile, si traduce in venute d'acqua in calotta, dalle pareti e dal fronte di scavo. La presenza di acqua sotterranea può portare alla necessità di opere di stabilizzazione del cavo. Le decisioni di carattere idrogeologico rivestono un'importanza notevole nelle diverse fasi di progettazione, esecuzione e gestione delle gallerie: per lungo tempo i progettisti e gli operatori hanno subito la comparsa di problemi d'acqua sotterranea come una "sorpresa geologica" alla quale si ovvia in corso d'opera piuttosto che investire in programmi di ricerca preventivi.

Nella tabella seguente si riportano i dati di alcune delle gallerie italiane gravate da problemi di acqua sotterranea (Civita M., 2005, modificata).

Tabella 1: esempi di gallerie in Italia per le quali sono stati riscontrati problemi di acqua sotterranea

Galleria	Tipo	L [km]	Qmax [m ³ /s]	Qmin [m ³ /s]	Acquifero
Sempione (ITA-CH)	FER	19.8	1.700	0.864	Calcari
Vaglia (BO-FI)	FER	18.6	0.080	-	Calcari, calcareniti, arenarie
Direttissima (BO – FI)	FER	18.5	1.200	0.060	Arenarie
Pavoncelli bis (AV)	IDR	10.4	9.000	0.800	Calcari, argilloscisti
Firenzuola (BO – FI)	FER	15.1	0.277	0.070	Arenarie e marne fratturate
Santomarco (Paola-CS)	FER	15.3	0.100	0.038	Metamorfiti
Frejus (T4)	AUT	12.9	0.007	0.001	Diversi
Monte Bianco (T1)	AUT	11.6	0.800	0.440	Granito fessurato
Raticosa (BO – FI)	FER	10.4	0.037	-	Arenarie, marne e argille
Gran Sasso (A24)	AUT	10.2	3.000	0.600	Calcari
S. Lucia (NA – SA)	FER	10.2	1.000	0.250	Calcari
Putifigari (SS)	GRO	9.8	0.070	0.050	Vulcaniti
Zuc del Bor (UD – AUT)	FER	9.3	0.700	0.650	Calcari
S. Stefano (GE – F)	FER	7.9	-	Alta	Calcari marnosi, arenarie
Monte Olimpino 2 (MI – CO)	FER	7.2	Elevata	-	Calcari, conglom., sabbie
Serena (PR – SP)	FER	6.9	Media	-	Calcareniti, brecce, flysch
Monte La Mula	IDR	6.3	0.200	0.800	Calcari, dolomie
Turchino (GE – AT)	FER	6.4	0.110	0.075	Calcescisti
Satriano (1° salto)	IDR	6.4	Elevata	-	Graniti milonitizzati
Gran S. Bernardo (T2)	AUT	5.9	Scarsa	Bassa	Gneiss, scisti
S. Leopoldo (UD – AUT)	FER	5.7	3.600	alta	Calcari
Gravere (TO – FRA)	FER	5.6	elevata	0.013	Calcescisti
Vado Ligure (ITA – FRA)	FER	4.9	0.200	0.050	Dolomie
Colle Croce (ITA – FRA)	STR	4.1	Scarsa	Bassa	Calcescisti
Col di Tenda (ITA – FRA)	FER	3.2	0.600	0.200	Calcari
Bypass Spriana	IDR	3.2	0.300	0.040	Gneiss, calcari, dolomie
Villeneuve (A5)	AUT	3.2	0.200	0.001	Calcescisti, carnirole
Pre Saint Didier (A5)	AUT	2.8	0.100	0.080	Calcescisti, arenarie
Moro (AN – BA)	FER	1.9	0.080	-	Sabbie, ghiaie
Colle della Scala	FER	-	Elevata	Alta	Calcari
Crocetta (Paola – CS)	STR	1.5	0.022	0.028	Scisti tettonizzati

2. SCOPO, METODOLOGIA E STRUTTURA DEL DOCUMENTO

Come già illustrato, l'ambito di ricerca nel quale si inserisce il presente documento, è l'interazione tra opere in sotterraneo e l'ambiente idrico, in particolare i sistemi acquiferi.

Delle diverse interferenze tra acquifero e scavo in sotterraneo ne sono state trattate alcune tra quelle principali e che si verificano con maggior frequenza:

- Venute idriche improvvise o inrush: ingenti e improvvise ingressioni d'acqua nel vuoto artificiale (tunnel o cava) legate all'intercettazione, durante lo scavo, di una zona ad elevata permeabilità e ad elevato carico idraulico. Tale fenomeno, generalmente, è dovuto alla presenza di zone di deformazione fragile o di importanti cavità carsiche. Il verificarsi di un inrush comporta, oltre agli ovvi problemi di prosecuzione dello scavo e di allontanamento delle acque dal fronte anche significativi problemi di sicurezza.
- Venute idriche: l'ingressione di acqua all'interno della zona di scavo a causa dell'intercettazione di fratture di varia entità e, in generale di discontinuità, nell'ammasso è uno dei fenomeni di interferenza con l'acquifero più frequenti
- Essiccamento sorgenti, pozzi e corsi d'acqua: un vuoto sotterraneo rappresenta una via di drenaggio preferenziale della risorsa idrica; la realizzazione, dunque, di un vuoto artificiale, in un materiale non sufficientemente compatto, altera in tempi più o meno brevi l'equilibrio piezometrico della zona in cui esso viene creato. Tali variazioni di livello piezometrico spesso comportano l'essiccamento di punti d'acqua quali pozzi, sorgenti o corsi d'acqua nell'intorno dell'opera.
- Inquinamento della risorsa idrica: la realizzazione di opere in sotterraneo, in rocce non autoportanti, comporta l'utilizzo di cementi e, in generale, di materiali per il consolidamento. L'immissione di tali cementi in acqua può rappresentare un grave problema, specialmente se le acque dell'eventuale sistema acquifero intercettato sono destinate al consumo umano.
- Aggressività delle acque: l'attacco chimico delle acque, in particolare sui materiali da costruzione, è un problema spesso sottovalutato durante la realizzazione di opere in sotterraneo ma l'indebolimento del materiale ad opera di acque con particolari caratteristiche chimiche può comportare gravi conseguenze sulla struttura in costruzione.
- Smaltimento acque di scarico: la destinazione finale delle acque drenate dalle opere sotterranee riveste una grande importanza durante la realizzazione e la gestione dell'opera
- Radon nelle acque: un problema ancora poco conosciuto è la presenza di radon nelle acque. La dispersione di tale gas in aria può comportare, però, un grave rischio per la salute umana pertanto devono essere previste delle azioni di rimedio.

L'osservazione di casi studio in Italia e nel mondo, alcuni dei quali descritti nel successivo capitolo, per i quali sono sorti problemi e inconvenienti di entità e misura differenti, sia dal punto di vista ambientale che economico, ha costituito lo stimolo alla ricerca e all'approfondimento nell'ambito di questa vasta tematica.

In particolare, l'obiettivo dell'attività di ricerca, è la definizione di un approccio metodologico operativo per esaminare le interferenze tra l'opera in sotterraneo e il sistema acquifero, che potesse

costituire una sorta di linea guida, più completa possibile, da applicare ad opere in fase di progettazione, di esercizio e di fine vita.

Il monitoraggio ambientale, in particolare quello idrogeologico, è stato subito individuato quale strumento fondamentale allo scopo.

Il processo di ricerca si è quindi svolto su più fronti, di seguito illustrati.

- ✓ È stato condotto un approfondimento sul panorama normativo e sulla letteratura esistente in merito al monitoraggio ambientale della componente idrica, con particolare attenzione a quella sotterranea, al fine di individuare standard operativi e modelli procedurali.
- ✓ È stata quindi svolta una ricerca in merito alle metodologie e agli strumenti adottati per il monitoraggio, individuando attrezzature, analisi, modelli concettuali e procedure di uso comune.
- ✓ Sono stati descritti i principali modelli concettuali alla base del funzionamento di un acquifero e sono state individuate le interferenze tra i sistemi acquiferi, assimilabili a tali modelli, e le opere in sottterraneo. In questo contesto è stato delineato un nuovo modello concettuale inerente la circolazione delle acque nei gessi.
- ✓ Sono stati individuati alcuni casi studio, che potessero coprire, compatibilmente con i tempi e i mezzi della ricerca, la più ampia casistica possibile. La casistica da coprire riguarda:
 - La tipologia di acquifero: in funzione del tipo di acquifero sono attese risposte e interferenze differenti e si possono individuare metodologie di monitoraggio e modellizzazione differenti;
 - La tipologia di opera in sottterraneo: esistono molteplici opere che possono determinare un'interferenza con l'ambiente idrico sottterraneo: tra queste sono state individuate quelle più significative, delle quali potessero esserci casi reali sul territorio;
 - La tipologia di monitoraggio: nell'attività di ricerca si è cercato di sperimentare ed analizzare tutti i possibili metodi di studio e monitoraggio, dall'analisi in situ alle prove in laboratorio e alle modellizzazioni concettuali;
 - La tipologia di interferenza: seppur in maniera non esaustiva sono state individuate e, successivamente trattate nei casi studio, le principali interferenze tra acquifero e opera in sottterraneo.

La Tabella 2 riporta sinteticamente la casistica utilizzata come base della ricerca.

Tabella 2: Casistica alla base della ricerca

		CALLIANO	MONCALVO	TENDA	VALSUSA	MORIS ¹
ACQUIFERO	Poroso				X	X
	Carsico/Fratturato	X	X	X		X
OPERA	Cava	X	X			
	Tunnel			X	X	
AZIONE INTRAPRESA	Monitoraggio	X	X	X		X
	Analisi in laboratorio	X	X	X		X
	Modelli concettuali	X	X		X	
INTERFERENZA	Inrush		X			
	Venute idriche	X	X			
	Essiccamento punti d'acqua				X	
	Inquinamento			X		
	Aggressività delle acque					
	Radon		X			
	Smaltimento acque di scarico	X	X			

Anticipando le conclusioni del documento e della ricerca, le informazioni così ricavate sono state analizzate ed esaminate, permettendo, di definire un approccio metodologico nello studio dell'interazione tra opere in sotterraneo e acquiferi.

Sviluppando quanto sopra riportato, il documento si sviluppa come segue:

Struttura del documento	
Cap. 4	Inquadramento normativo in merito al monitoraggio ambientale nelle opere, con particolare riferimento alla componente idrica sotterranea
Cap. 4.4	Organizzazione e principi di un Piano di monitoraggio ambientale
Cap. 5	Legislazione sugli scarichi
Cap. 1	Tecniche e strumenti di monitoraggio delle acque sotterranee
Cap. 7	Modelli concettuali degli acquiferi
Cap. 8	Casi studio

I casi studio individuati ed analizzati permettono, come anticipato, di coprire una buona casistica, in merito alla tipologia di acquifero, di opera in sotterraneo e di tecniche di studio e monitoraggio.

Di seguito si illustrano brevemente le casistiche analizzate, grazie ai casi studio individuati, per l'approfondimento dei quali si rimanda al capitolo dedicato.

Tipologia di acquifero

¹ Il progetto MORIS non viene approfondito nel capitolo relativo ai casi studio in quanto è stato utilizzato solamente come banca dati per la definizione dei modelli concettuali

Esistono molteplici tipologie di acquifero:

- Acquifero poroso
- Acquifero fratturato
- Acquifero carsico

Nel panorama illustrato, i casi studio individuati concernono sostanzialmente sistemi acquiferi di tipo poroso e di tipo carsico.

Tipologia di opera in sottterraneo

Nel panorama delle opere in sottterraneo sono state individuate le tipologie potenzialmente più impattanti per il sistema acquifero: cave, tunnel stradali e tunnel ferroviari.

Tipologia di monitoraggio

Come accennato, al fine di identificare un protocollo metodologico per lo studio dell'interferenza delle opere in sottterraneo con gli acquiferi, sono stati presi in considerazione i principali strumenti di studio oggi disponibili.

Questi si dividono in metodi conoscitivi diretti e indiretti. Tra i primi rientrano tutte le prove e le analisi che possono essere svolte sia in situ e che in laboratorio. Nella seconda tipologia rientrano invece i metodi conoscitivi quali modelli concettuali, che consentono di prevedere il comportamento di un sistema acquifero in presenza di un elemento estraneo, quale una galleria, o in seguito ad un'alterazione delle condizioni al contorno, quale l'esercizio di pozzi.

3. PROBLEMI TRA OPERE IN SOTTERRANEO E ACQUIFERI – ESEMPI SIGNIFICATIVI

Il presente capitolo riporta tre esempi significativi di interferenze tra opere in sotterraneo e sistema acquifero. L'obiettivo è quello di sottolineare l'attualità di tali problematiche e le conseguenze che tali interferenze possano portare. Molti sono gli esempi che si sarebbero potuti riportare, ne sono stati scelti 3 ritenuti significativi: due relativi al territorio nazionale e sicuramente di grande interesse sociale ed economico, il terzo è stato scelto in una realtà molto diversa da quella europea per evidenziare l'"internazionalità" di questi problemi.

3.1. ALTA VELOCITÀ MILANO – NAPOLI

Una delle opere viarie più importanti dell'ultimo decennio è sicuramente la linea dell'Alta Velocità. Di seguito si riporta una sintesi di una relazione redatta dal Presidente dell'Osservatorio Ambientale sulla TAV, Prof. Giuliano Rodolfi, in merito alla tratta compresa tra Bologna e Firenze.

3.1.1. INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Nel corso dei lavori per la realizzazione del tratto toscano della cosiddetta "Ferrovia ad Alta Velocità" Milano-Napoli (vedi figura seguente), in seguito citata con l'acronimo "AV", che prevede un tracciato caratterizzato da tre gallerie principali (Vaglia, km 18,561; Firenzuola, km 15,060; Raticosa, parte terminale) e di altre minori, si sono verificati impatti sulle risorse idriche superficiali e profonde superiori alle previsioni di progetto.

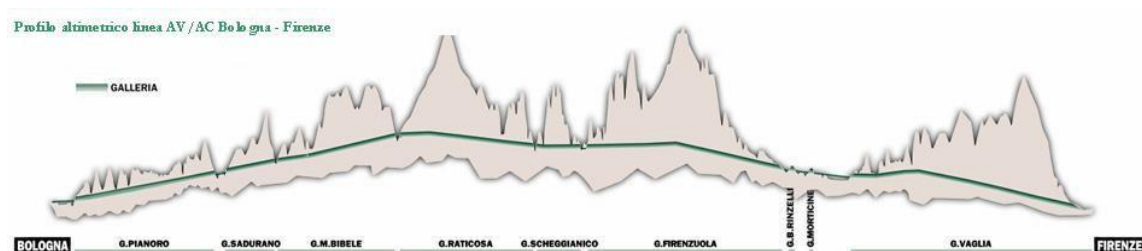


Figura 1: Profilo del tratto toscano della ferrovia AV Milano-Napoli

Soprattutto in conseguenza degli scavi di dette gallerie, alcune sorgenti di importanza strategica per usi civili, e altre minori, hanno fatto registrare diminuzioni significative di portata, anche fino al completo esaurimento; contemporaneamente, alcuni tratti di fossi e torrenti caratterizzati da deflusso perenne, ancorché modesto, si sono venuti a trovare in condizioni anomale di "secca" per lunghi periodi (mesi); alcuni pozzi sia per usi civili che agricoli, anche profondi, hanno fatto registrare significativi abbassamenti del livello statico, talora fino al completo prosciugamento. Tale situazione

di acclarata diminuzione di disponibilità della risorsa idrica nell'intero comprensorio interessato dai lavori AV, ha comportato pesanti conseguenze non solo sulle utenze civili, agro-zootecniche o industriali, ma anche sul delicato equilibrio dell'ecosistema montano, influenzando negativamente sia sulla flora che sulla fauna. In conseguenza di ciò è stata promossa un'azione legale contro i realizzatori dell'opera, volta al risarcimento del danno subito dalla comunità.

3.1.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Le principali formazioni geologiche interessate dal tracciato AV sono descritte di seguito:

Flysch marnoso-arenacei - La prima formazione geologica che il tracciato AV incontra in territorio toscano provenendo da Nord (nel tratto terminale della galleria Raticosa, in quella di Scheggianico e in quasi tutta quella di Firenzuola) è quella denominata "marnoso-arenacea" di età Langhiano-Tortoniano (Miocene Inferiore e Medio - CAPOZZI & *alii*, 1992). Si tratta di una formazione in facies di flysch, composta da strati alternantisi di arenarie (tipo "grovacche"), marne e, subordinatamente, siltiti e argilliti. Lo spessore degli strati varia da decimetri a metri, con un rapporto variabile fra arenarie e marne. In questi ammassi rocciosi la permeabilità è dovuta principalmente a fratture, che si limitano di solito agli strati arenacei; meno frequentemente sono presenti fratture con persistenza superiore a quella di strati arenacei individuali. In questo caso la permeabilità della formazione aumenta, generando una circolazione di acque su vasta scala, strettamente legata all'andamento di sistemi di fratture, di solito prossime a strutture tettoniche, come assi di anticlinali/sinclinali o faglie, orientate prevalentemente in direzione appenninica e, subordinatamente, in direzione antiappenninica. Si originano allora fasci di fratture, di larghezza variabile fra 50 e 200 m e lunghe fino a qualche chilometro, che vengono a costituire potenti acquiferi. Gli affioramenti di questa formazione sono caratterizzati da un gran numero di sorgenti e corsi d'acqua perenni. In un'area meno estesa, a Sud della precedente, affiora la formazione delle "arenarie di Castel Guerrino". Di composizione simile alla precedente, se ne differenzia per strati meno potenti e un più alto contenuto in marne, condizione che spiega la sua minore permeabilità.

"Formazione di Monte Morello" - Una volta attraversato il fondovalle del Mugello, per raggiungere il bacino di Firenze il tracciato AV penetra in galleria (galleria di Vaglia) la cosiddetta "formazione di Monte Morello". La galleria è fiancheggiata, dalla località Cardini (pk 73,697) a sbocco Gioneri (pk 80,214) da un tunnel di servizio e sicurezza, di diametro inferiore, scavato per mezzo di *Tunnel Boring Machine* (TBM). La formazione affiora anch'essa in facies di flysch, ma è costituita da strati alternantisi di calcari, calcari marnosi ("alberese"), marne, argilliti e, subordinatamente, arenarie. I calcari marnosi e le marne compongono l'80% dell'intera sequenza, il cui spessore raggiunge 700-800 m (BORTOLOTTI, 1962). Due unità a composizione pelitica affiorano una al suo tetto ("formazione di Pescina") e un'altra alla sua base ("formazione di Sillano", secondo lo schema riportato nella Tabella 3:

Tabella 3: Sequenza delle formazioni geologiche affioranti nel massiccio di M. Morello. (da COLI & FAZZUOLI, 1983)

Formazione	Litologia
Pescina (SaP)(Eocene)	Argilliti e siltiti con sottili intercalazioni di calcari e arenarie
M. Morello (ScM)(Paleocene – Eocene medio)	Alternanze di calcari e calcari marnosi: subordinatamente livelli metrici di arenarie fini e siltiti – argilliti marnose
Sillano (SSi) (cretceo Superiore)	Siltiti e argilliti con struttura caotica e alternanze di arenarie, marne e calcari marnosi

Da un punto di vista idrogeologico, questa massa rocciosa presenta una permeabilità secondaria legata alle deformazioni che hanno interessato la sua struttura “fragile”, principalmente faglie e fratture. Non si riscontrano morfologie carsiche all’interno della massa; l’accumulo di acqua avviene all’interno della rete di fratture beanti che interessano gli strati calcarei e la circolazione sotterranea principale si sviluppa all’interno delle discontinuità distensive (fasci di fratture aperte, associati a faglie dirette).

Formazioni a prevalente componente argillitica (Complesso Caotico, Sillano, Pescina, marne varicolori, olistostromi) – Distinte in passato col termine generico di “argille scagliose”, vi si riscontra come caratteristica comune una elevata componente argillitica, che conferisce loro scadenti caratteristiche geotecniche, variabili a seconda del contenuto in acqua. Costituiscono ammassi scompaginati, privi di stratificazione o laminati, inglobanti frammenti più o meno estesi di formazioni litoidi (calcari e calcari marnosi, prevalentemente); stante la loro instabilità, il tracciato della linea AV ha cercato di evitare, per quanto possibile, il loro attraversamento, sia in superficie che in galleria.

Sedimenti dell’antico bacino lacustre del Mugello - Il tracciato attraversa anche l’area dei Crocioni, con alternanze di brevi gallerie, trincee e rilevati, a causa della morfologia collinare modellata nei sedimenti lacustri a tessitura limoso-argillosa dell’antico bacino lacustre del Mugello. A causa delle scadenti caratteristiche geotecniche di questi sedimenti, i versanti sono poco acclivi; a luoghi sono osservabili indizi di movimenti di massa (per lo più di tipo *creeping*) recenti e attuali. Particolare attenzione dovrà essere fatta sia durante che dopo i lavori, per evitare la possibilità, anche se minima, di cedimenti.

3.1.3. IL MONITORAGGIO IDROGEOLOGICO E GLI IMPATTI SULLE RISORSE IDRICHE

La carta riportata nella Figura 2 rappresenta l’ubicazione dei punti di monitoraggio principali di pozzi e sorgenti nella fase *ante operam*. È interessante notare come i punti di campionamento (in particolare le sorgenti) sono particolarmente densi in corrispondenza della galleria di Vaglia rispetto a quelle di Firenzuola e Raticosa. Tale diversità sembra riferita tanto alla reale distribuzione dei punti d’acqua che, riteniamo, essere almeno uniforme nelle due situazioni, se non a vantaggio del settore appenninico, che riceve maggiori precipitazioni, quanto ad un livello di accertamento geologico piuttosto “speditivo”. In altre parole, la densità di monitoraggio sembra aver privilegiato gli affioramenti calcareo-marnosi della formazione di M. Morello, forse ritenuti maggiormente interessati da una circolazione idrica sotterranea per fratturazione, addirittura di tipo carsico,

rispetto a quelli arenaceo-pelitici dell'Appennino, considerati solitamente alla stregua di "acquitardi", con circolazione idrica lenta e localmente limitata.

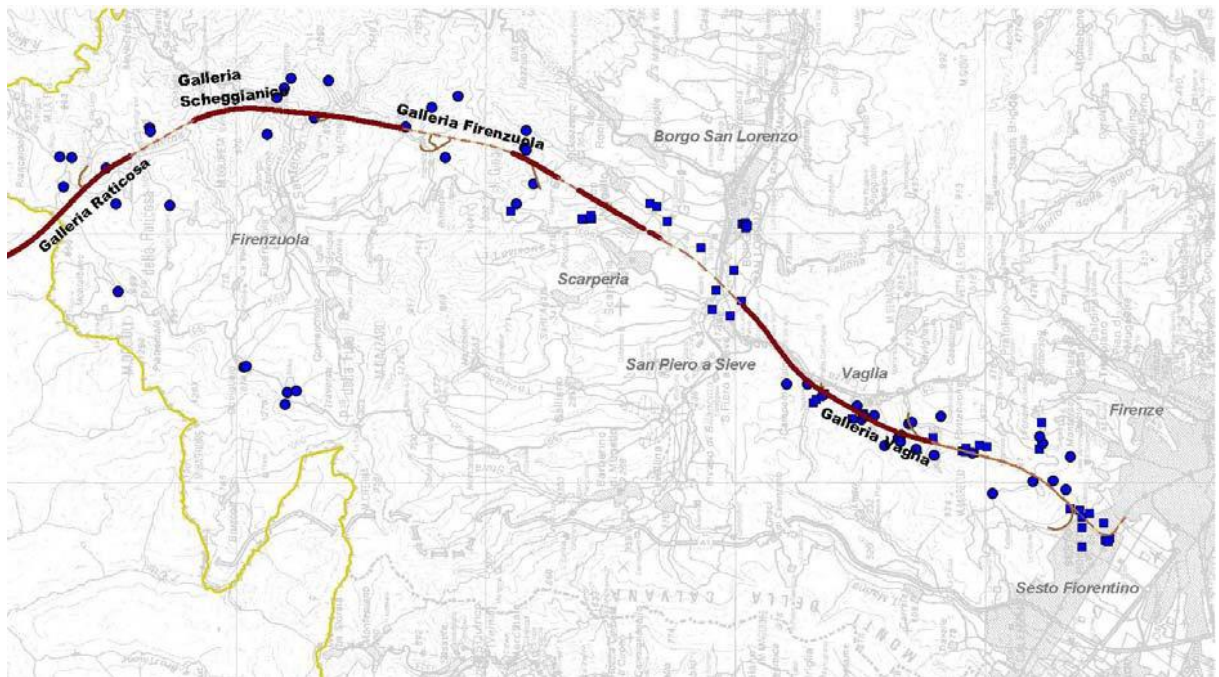


Figura 2: Ubicazione dei principali punti d'acqua oggetto di monitoraggio ante operam e nei primi momenti della fase in corso d'opera (da ARPAT)

Con il procedere degli scavi sui vari fronti, e il conseguente manifestarsi dei primi impatti sui punti d'acqua, cui fecero seguito rilevamenti geologici di maggior dettaglio, il PMA fu aggiornato, e la situazione dei punti d'acqua sotto controllo divenne quella illustrata nella Figura 3.

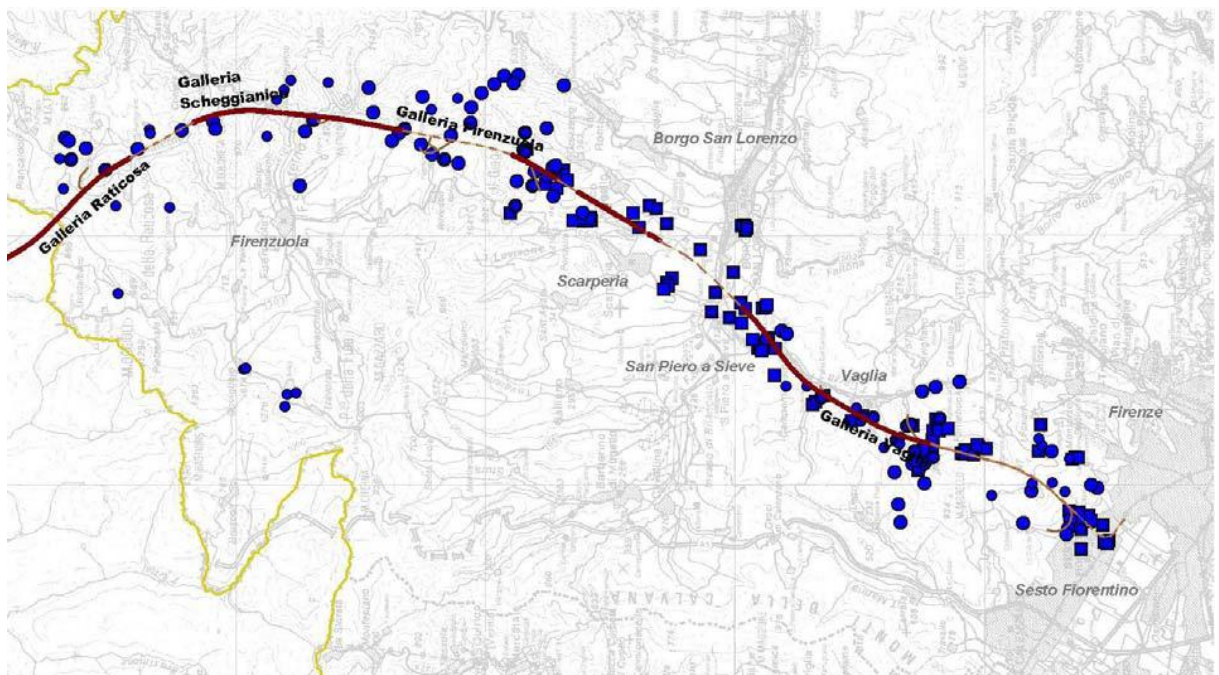


Figura 3: I punti d'acqua oggetto di monitoraggio dopo il verificarsi dei primi impatti (da ARPAT)

Riportiamo schematicamente di seguito, per ogni galleria e in ordine cronologico, la successione degli eventi più significativi che si sono verificati fino ad oggi nel corso dei lavori per la realizzazione della ferrovia AV.

GALLERIA RATICOSA

Estate 1998: *si verifica il grave impatto sulla sorgente Castelvecchio, che alimentava l'acquedotto della frazione*

GALLERIA FIRENZUOLA

Primavera 1997: *primo impatto a carico della sorgente Ca'di Sotto, in prossimità dell'imbocco della finestra Rovigo*

Primavera 1998: *si verifica un fenomeno di subsidenza in località Il Grillo presso S. Giorgio (comune di Borgo San Lorenzo); si rende necessaria l'esecuzione di un campo pozzi per abbassare il livello della falda e consentire l'avanzamento; qualche giorno dopo si verifica uno sprofondamento localizzato a circa 70 m a est dell'asse della galleria.*

Luglio 1999: *lo scavo della finestra Osteto viene interrotto per l'intercettazione di una cospicua venuta d'acqua; i lavori vengono sospesi*

Ottobre 1999: *terminata la difficoltosa realizzazione della finestra Marzano, iniziano gli scavi dei tratti di galleria da Marzano verso sud e da Marzano verso nord; la sorgente Marzano è la prima ad essere impattata nella zona (primo semestre 1999); il tratto verso nord provoca il primo forte e significativo impatto a carico della galleria Firenzuola.*

Ottobre 99 - Marzo 2000: *si verificano impatti significativi sulle sorgenti di Case d'Erci*

Agosto 2000: *viene impattata l'importante sorgente La Rocca, captata da tempo per l'acquedotto di Scarperia.*

Agosto 2000: *il torrente Veccione inizia a presentare i primi segnali di diminuzione di portata*

Estate 2000: *grave impatto progressivo sulla sorgente Frassineta*

Maggio 2001: *esaurimento completo della sorgente Frassineta*

Tarda primavera 2001: *Il torrente Rampolli fa registrare una significativa perdita di portata a valle delle sorgenti Capannone.*

Luglio 2001: *impatto sulla sorgente Badia di Moscheta 2*

Estate 2001: *esaurimento delle sorgenti I Guazzini e Alicelle-Largignana*

Dicembre 2001: *impatto sulla sorgente Badia di Moscheta*

Giugno 2002: *una ulteriore grave intercettazione si verifica con l'approssimarsi della progressiva 53+275: la portata in galleria passa da 130 Litri/secondo del maggio 2002 ai 207Litri/secondo di giugno, ai 345 di luglio per poi toccare il massimo assoluto in agosto, quando arriva a toccare i 390 Litri/secondo.*

Maggio 2003: *la sorgente sulfurea in località Madonna dei Tre Fiumi risulta esaurita.*

GALLERIA VAGLIA

Giugno 1997: *primi impatti sui pozzi Carlone 1 e Carlone 2*

Primavera-estate 1999: *impatti a carico delle sorgenti Pozza, Case Frilli e Mozzete nella zona di Tagliaferro (comune di San Piero a Sieve). Risultano perdite totali di deflusso a carico del torrente Cardetole.*

Dicembre 2000: *impatto sulla sorgente Ginori a Sesto Fiorentino*

Febbraio 2001: *impatto sulla sorgente Fontemezzina a Sesto Fiorentino*

3.1.4.COMMENTI AL CASO STUDIO

Le opinioni su quanto accaduto e sopradescritto, in maniera sintetica, sono le più discordanti e su queste non si entrerà nel merito. Il dato oggettivo che emerge però, da quanto riportato, è l'importanza del monitoraggio in ambito idrogeologico: le numerose interferenze tra acquifero e galleria sopraggiunte durante lo scavo evidenziano come un'opera di tale portata non possa prescindere da un piano di monitoraggio realizzato ad hoc. Opere di tale portata richiedono uno studio accurato della letteratura ed una configurazione delle rete di monitoraggio ante operam costruita anche sulla base di test con traccianti al fine di definirne la reale interferenza con le risorse idriche.

3.2. TUNNEL HSUEH-SHAN

3.2.1.INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il tunnel Hsueh-Shan è localizzato nella zona nord-est di Taiwan, a circa 30 km a sud della città di Taipei. Tale galleria stradale ha una direzione nord-ovest / sud-est, è lunga 12,9 km ed attraversa la Hsueh – Shan Mountain Range, da Pinglin (Taipei county) all'ingresso nord del tunnel a Toucheng (Yilan County) ove è ubicato l'ingresso sud. Il complesso viario sotterraneo è costituito da due gallerie principali e da un tunnel pilota rispettivamente con diametro 10,8 m e 4,8 m. Il tunnel pilota si trova ad una quota inferiore rispetto alle gallerie principali. Il terreno sopra la galleria raggiunge uno spessore massimo di 700 m (Yung-Chia & Chia, 2012).

Lo scavo inizialmente è stato realizzato mediante TBM ma numerosi crolli legati a zone geologicamente fragili e a importanti venute di acqua sotterranea hanno causato l'interramento della stessa TBM nel tunnel pilota. In seguito a tali problemi è stato deciso di procedere in tradizionale (metodo drill & blast).

Dopo 15 anni di lavori il tunnel è stato aperto al transito nel 2006.

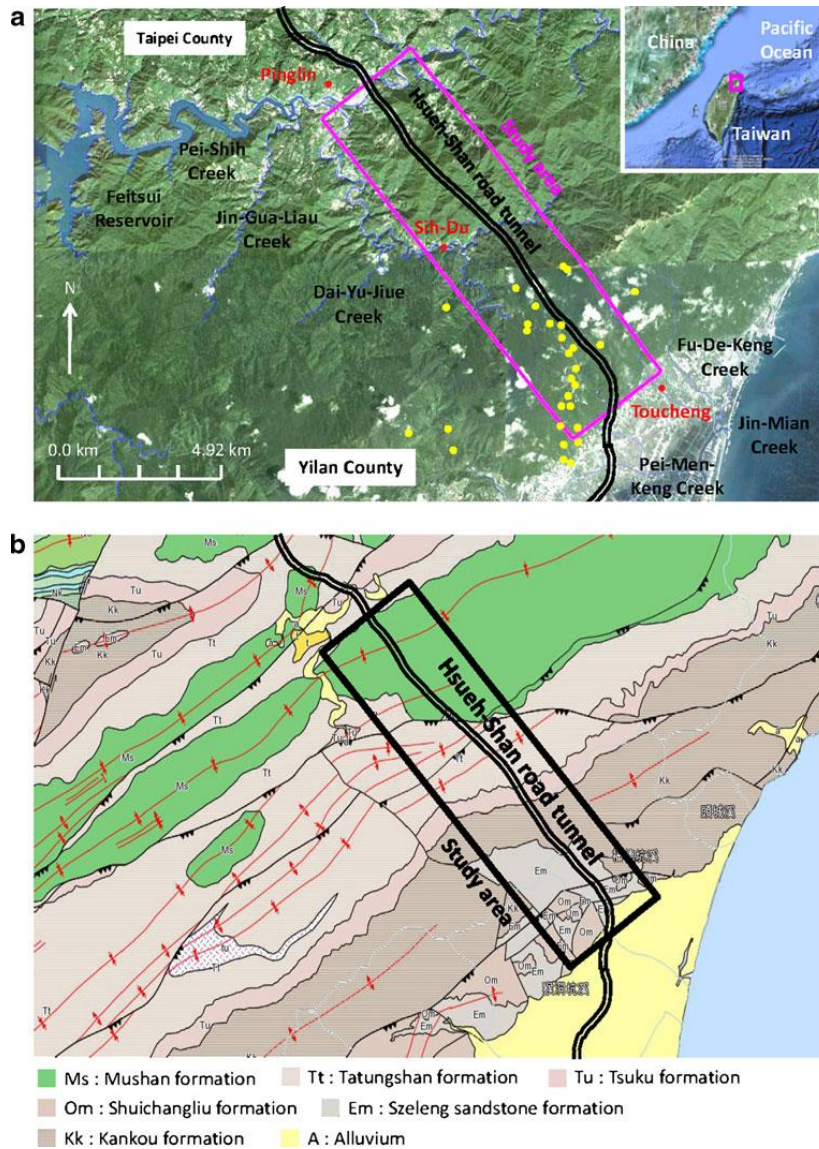


Figura 4: Inquadramento territoriale e geologico del tunnel Hsueh-Shan

3.2.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROLOGICO

L'area di studio è localizzata nella parte nord della Hsueh – Shan Mountain, che è fortemente influenzata dall'espansione della Okinawa Trough. Lungo il tunnel sono state individuate numerose faglie e varie zone ad elevata fratturazione; il tunnel Hsueh-Shan attraversa diversi strati, tra cui Mushan (Ms), inclusi Fangchiao (FC) e Makang (MK) soci-Tatungshan (Tt), Tsuku (Tu), Kankou (Kk), Shuichangliu (Om), e Szeleng Sandstone (Em), formazioni geologiche e grandi strutture, tra cui la sinclinale Yingtzulai, le faglie Shihchiao, Shihpai (nord e sud), Tachingmen, Palin, Shangshin e Chingyin, come mostrato nella Figura 4.

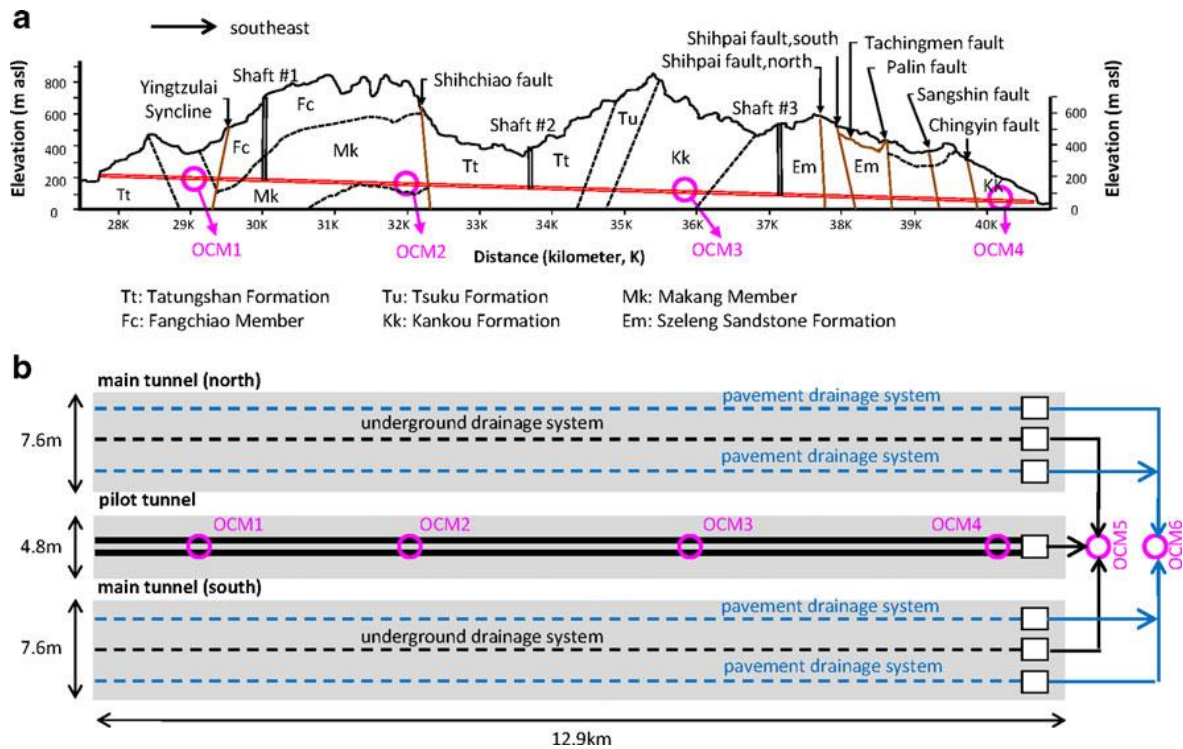


Figura 5: Punti di monitoraggio lungo il tunnel

Durante lo scavo, il collasso più grave e la maggior venuta idrica si sono verificati nelle arenarie di Szeleng, in particolare tra le faglie Palin e Shanhsin. Le arenarie Szeleng, di formazione eocenica, sono costituite sostanzialmente da quarziti e argilliti metamorfosate. Tali arenarie quarzitiche si presentano in strati relativamente spessi intervallati da strati di argilliti o scisti carbonatici con spessori variabili da pochi millimetri a qualche metro.

A causa dell'elevato contenuto di quarzo queste arenarie presentano elevata durezza ed al contempo, elevata friabilità ed una forte abrasività. I giunti sono ben sviluppati e appaiono frequentemente zone di taglio nelle arenarie di Szeleng.

I principali corsi d'acqua nei pressi del tunnel Hsueh-Shan sono Pei-Shih, Jin-Gua-Liau, Dai-Yu-Jiue, Fu-De-Keng, Jin-Mian, e insenature Pei-Men-Keng (Figura 4). Il Pei-Shih Creek, che scorre da nord-est a sud-ovest, fluisce nel Feitsui Reservoir, bacino per l'approvvigionamento idrico di Taipei. I rii Jin-Gua-Liau e il Dai-Yu-Jiue, che scorrono da sud a nord, confluiscono nel Pei-Shih Creek. Il Dai-Yu-Jiue Creek scorre quasi parallelo al tunnel, tranne presso l'imboccatura nord dove lo attraversa. penetra il tunnel. I corsi d'acqua Fu-De-Keng, Jin-Mian, e Pei-Men-Keng scorrono da nord-ovest a sud-est, e sboccano nell'Oceano Pacifico. La precipitazione media annua nell'area di studio è di circa 3.500 millimetri. Generalmente, la stagione delle piogge va da maggio a novembre mentre la stagione secca va da dicembre ad aprile anche se tale differenza stagionale non risulta molto evidente.

La conducibilità media di un'arenaria quarzitica è circa di $10^{-6} - 10^{-7}$ m/s. Il livello piezometrico, misurato nel 1991 in 32 diversi punti, evidenziava che la superficie piezometrica si trovava a poche decine di metri sotto il piano campagna.

Successivamente al completamento del tunnel è stato installato un sistema di monitoraggio della portata delle acque drenate dal tunnel stesso al fine di capire la distribuzione delle venute sotterranee, di valutare gli impatti sulle risorse idriche e di verificare la sicurezza dell'opera. Il

sistema è costituito da 6 stazioni: 4 sono ubicate nel tunnel pilota (OCM1 –OCM4) e 2 si trovano all'esterno della galleria (OCM5, OCM6) (Figura 5).

La disposizione in serie delle stazioni fa sì che OCM1 misuri la portata delle venute tra l'entrata nord del tunnel e il punto in cui è posizionata, OCM2 misuri le venute già misurate in OCM1 più quelle del tratto tra OCM1 e OCM2 e così via. OCM5 misura dunque la portata totale drenata dai due tunnel principali. OCM6 invece misura la portata del drenaggio a pavimento realizzato nelle due gallerie principali.

L'andamento delle portate misurate è riportato in Figura 6. La portata di OCM5 varia da un minimo di 409 l/s (dato misurato a settembre 2010) ad un massimo di 750 l/s misurato a dicembre 2007 e visibile in Figura 6.

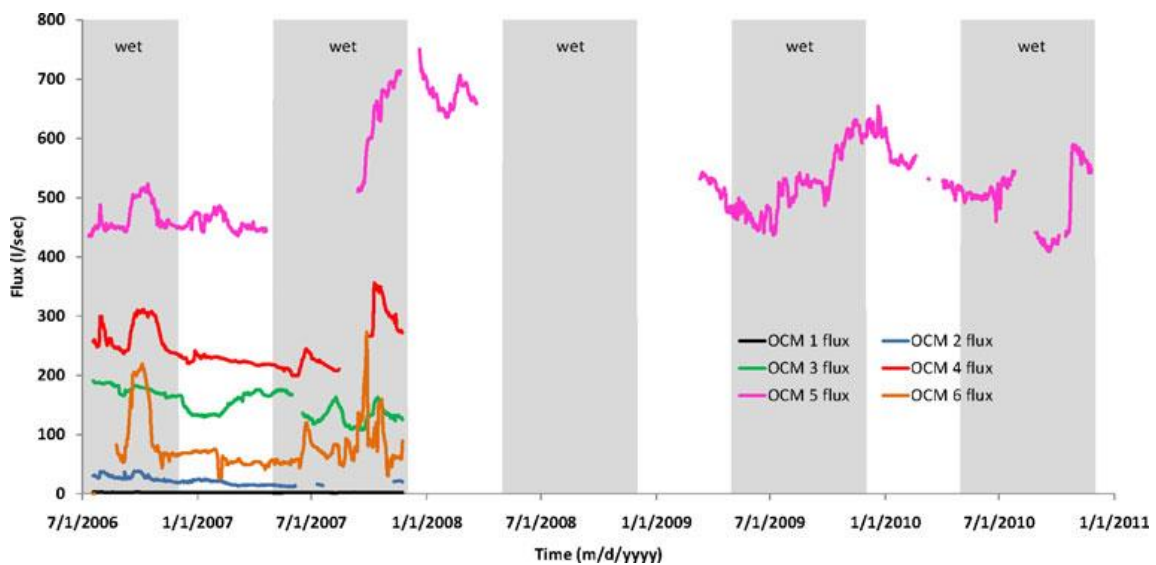


Figura 6: Andamenti delle portate presso i punti di controllo

Dalla Figura 7, dove sono stati riportati le portate per unità di lunghezza, è possibile notare che le sezioni OCM2-OCM3 e OCM3-OCM4 contribuiscono oltre il 90% al flusso totale e il loro andamento è molto simile a quello misurato in OCM5, ne consegue che la zona di maggior flusso è quella compresa tra la faglia di Shihchiao e l'entrata sud del tunnel.

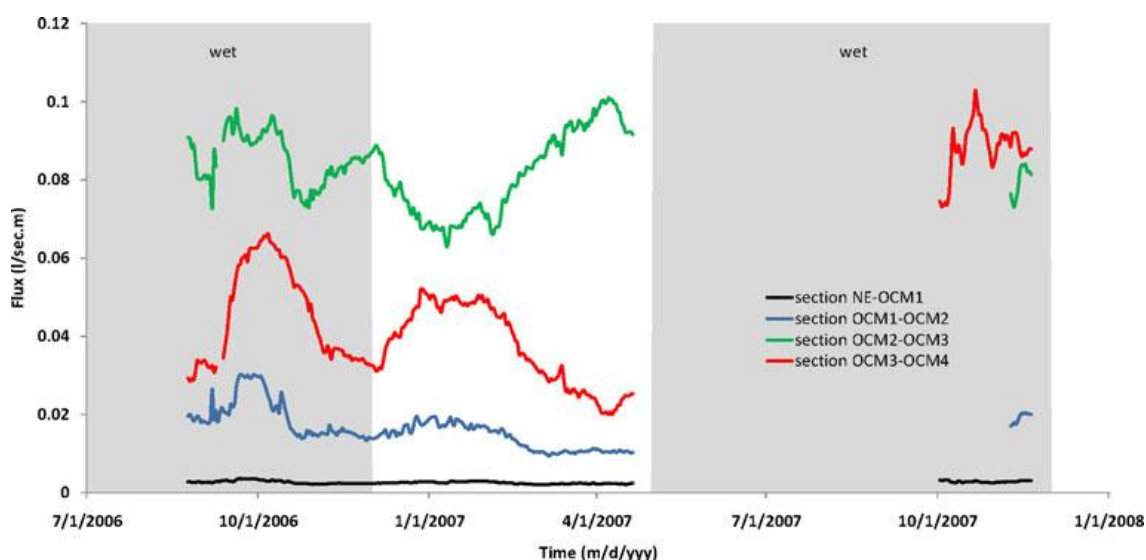


Figura 7: Portate per unità di lunghezza nei tratti controllati

3.2.3. IMPATTO SULLE RISORSE IDRICHE

Un modello idrogeologico calibrato ad hoc su questo studio ha permesso di valutare la perdita di portata affluente al Feitsui Reservoir. La faglia Shihpai nord risulta uno spartiacque sottterraneo: le acque sotterranee fluenti nel tunnel Hsueh-Shan sul lato ovest di tale faglia originariamente confluivano, attraverso il Pei-Shih creek, nel Feitsui Reservoir. Successivamente alla realizzazione del tunnel queste acque vengono drenate nella piana di Yilan.

Le portate sotterranee drenate dal tunnel sul lato ovest della faglia Shihpai e le portate confluenti nel Feitsui Reservoir nella stagione secca e durante il periodo più piovoso (anni 2006 -2010) sono riportate nella Tabella 4.

Tabella 4: Perdite di flusso afferenti al bacino di Feitsui

Anno	2006		2007		2008		2009		2010	
	Secco	Umido	Secco	Umido	Secco	Umido	Secco	Umido	Secco	Umido
Feitsui inflow [x 10 ⁶ m ³]	N/A	2987.1	3381.1	7999.7	4778.7	7663.5	3111.0	5713.5	3148.2	5459.0
Perdite	N/A	4.9	6.4	6.9	8.3	7.9	7.9	8.3	9.2	8.2
Percentuale	N/A	1.65%	1.94%	0.86%	1.73%	1.03%	2.54%	1.45%	2.93%	1.51%

La perdita media di portata afferente al Feitsui Reservoir tra il 2006 e il 2010 risulta essere del 1,74 %. La perdita minima è pari allo 0,86% ($6,9 \times 10^6 \text{ m}^3$) registrata durante la stagione umida del 2007 mentre la perdita maggiore è stata misurata nella stagione secca del 2010 e si attesta intorno al 2,93%.

3.2.4.COMMENTI AL CASO STUDIO

L'esempio soprariportato evidenzia come un'opera sotterranea, in questo caso un tunnel, possa interferire pesantemente sulle risorse idriche sia sotterranee che superficiali incidendo in maniera significativa su un bacino idropotabile.

Non sempre è possibile impedire, anche se previste, interferenze di questo tipo, pertanto risulta sostanziale individuare preventivamente degli approvvigionamenti idrici alternativi.

3.3. IL TUNNEL DEL GRAN SASSO

3.3.1.INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Alla fine degli anni '60, per superare il gruppo montuoso del Gran Sasso con l'autostrada A24 e collegare il versante tirrenico dell'Appennino (Roma) con il versante Adriatico (Teramo) è stato realizzato un tunnel a doppia canna con uno sviluppo di circa 10 km (Civita M. , Casi-studio: gli impatti di grandi gallerie italiane sulle RIS, 2005).

Il massiccio del Gran Sasso (Abruzzo) occupa un'area di circa 800 kmq e presenta un'altitudine massima di m 2.912 con il Corno Grande. Nella Figura 8 si riporta il profilo geologico lungo l'asse della galleria

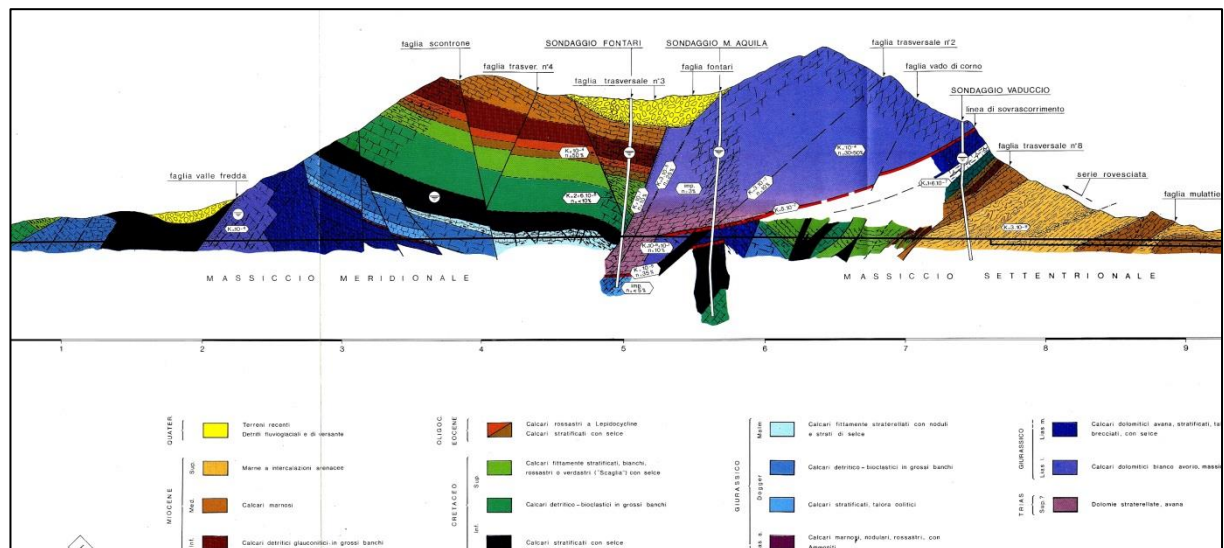


Figura 8: Profilo geologico lungo l'asse della galleria autostradale del Gran Sasso

L'acquifero carbonatico risulta formato da una serie di bacini intercomunicanti, confinati lateralmente da litotipi impermeabili. All'interno della struttura si possono individuare spartiacque secondari, corrispondenti a discontinuità tettoniche o stratigrafiche (Celico 1983), che ostacolano ma non impediscono la comunicazione idraulica sotterranea. La struttura idrogeologica del Gran Sasso si può quindi definire come un unico acquifero di tipo compartimentato.

L'ammasso è costituito da 3 idrostrutture:

- la prima, tra una soglia di permeabilità e una faglia trasversale, è composta da calcari e dolomie
- la seconda compresa tra la faglia di Fontari e la faglia di Valle Fredda
- la terza, relativa all'imbocco sud

Nelle zone marginali dell'ammasso vi sono 12 gruppi di sorgenti, con una portata media complessiva di circa 20 m³/s: cinque gruppi sono ubicati sul versante settentrionale del massiccio, ad un'altitudine maggiore di m 1.000 e con una portata di soli 2 m³/s. Sette gruppi risultano disposti sul versante meridionale, ad un'altitudine inferiore a m 650 e con una portata complessiva di 18 m³/s, cui va sommato il contributo della sorgente di Capo Pescara (7 m³/s), in parte alimentata dall'acquifero del M.Sirente (Massoli-Novelli et alii, 1999).

3.3.2. IMPATTO SULLE RISORSE IDRICHE

La superficie piezometrica ha evidenziato un carico idraulico di 600 m nella zona nord e di 200 m in corrispondenza della faglia di Valle Fredda. Nel settembre del 1970 durante l'attraversamento di tale faglia si verificò un inrush che raggiunse un picco di portata di 20 m³/s inondando il cantiere con acqua e fango.

Molte sorgenti hanno subito un pesante degrado quantitativo in seguito alla realizzazione del cavo stradale.

La Figura 9 riporta il degrado quantitativo delle risorse idriche ad opera del drenaggio della galleria stradale.

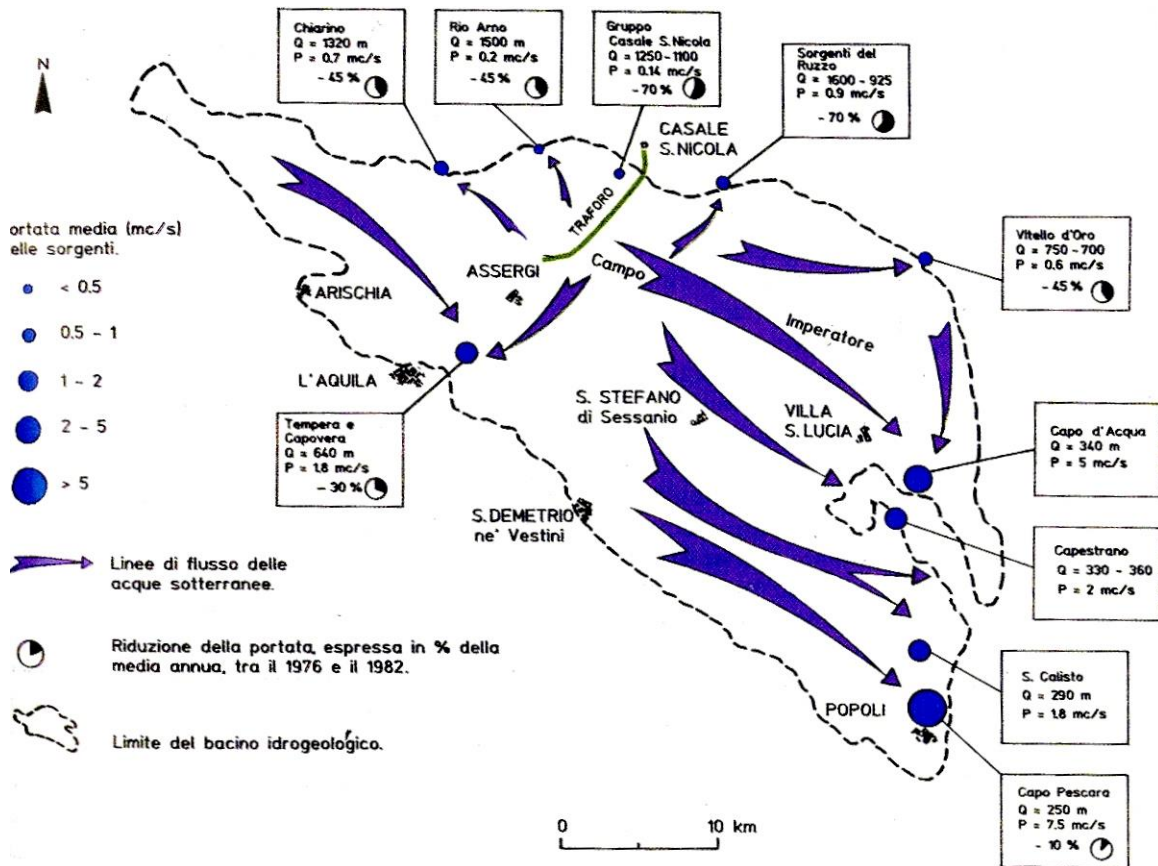


Figura 9: Degrado quantitativo delle risorse idriche causato dal drenaggio del tunnel autostradale del Gran Sasso

3.3.3. COMMENTI AL CASO STUDIO

Come già descritto precedentemente gli esempi non entrano nel merito tecnico delle opere e dei relativi studi ma hanno lo scopo di evidenziare la realtà di tali problematiche che non possono e non devono essere confinate alla sola realtà accademica. Il dato oggettivo che è emerso dalla concisa sintesi è che l'intercettazione di una faglia con un notevole carico idraulico ha creato ingenti problemi al proseguo dei lavori: i lavori dello scavo iniziati nel 1969 si sono protratti per oltre 15 anni anche a causa della sottovalutazione delle problematiche idrogeologiche.

4. LA LEGISLAZIONE SUL MONITORAGGIO AMBIENTALE

4.1. L'IMPORTANZA DEL MONITORAGGIO AMBIENTALE

4.1.1. IL MODELLO DPSIR

La descrizione dello stato di qualità dell'ambiente e delle sue risorse e le conseguenze di un'azione su di essi sono un'operazione spesso complessa e delicata: si tratta di raccogliere ed organizzare informazioni al fine di delineare un quadro che sia rappresentativo della realtà, mantenendo le caratteristiche di sinteticità e comprensibilità, ma che sia in grado di individuare le relazioni che intercorrono tra lo stato delle risorse, le attività umane e i fattori di pressione.

Lo studio dell'interazione tra un'opera e l'ambiente determina la necessità di delineare un quadro il più possibile completo dello stato dell'ambiente nell'area in cui si prevede di realizzare il progetto e, successivamente, ad identificare e valutare la possibilità che il progetto in esame generi effetti negativi in grado di compromettere la qualità ambientale di partenza o la salute pubblica.

È opportuno, quindi, disporre di un modello che sia in grado di descrivere le interazioni tra i sistemi economici, politici e sociali con le componenti ambientali, secondo un approccio causa-condizione-effetto.

Lo schema di riferimento generalmente adottato è quello del modello DPSIR (Determinanti, Pressioni, Stato, Impatti, Risposte), proposto dall'AEA nel 1995, sviluppato dal precedente modello PSR, ideato dall'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE).

Secondo tale modello, infatti, gli sviluppi di natura economica e sociale (*Determinanti*) esercitano *Pressioni*, che producono alterazioni sulla qualità e quantità (*Stato*) dell'ambiente e delle risorse naturali. L'alterazione delle condizioni ambientali determina degli *Impatti* sulla salute umana, sugli ecosistemi e sull'economia, che richiedono *Risposte* da parte della società.

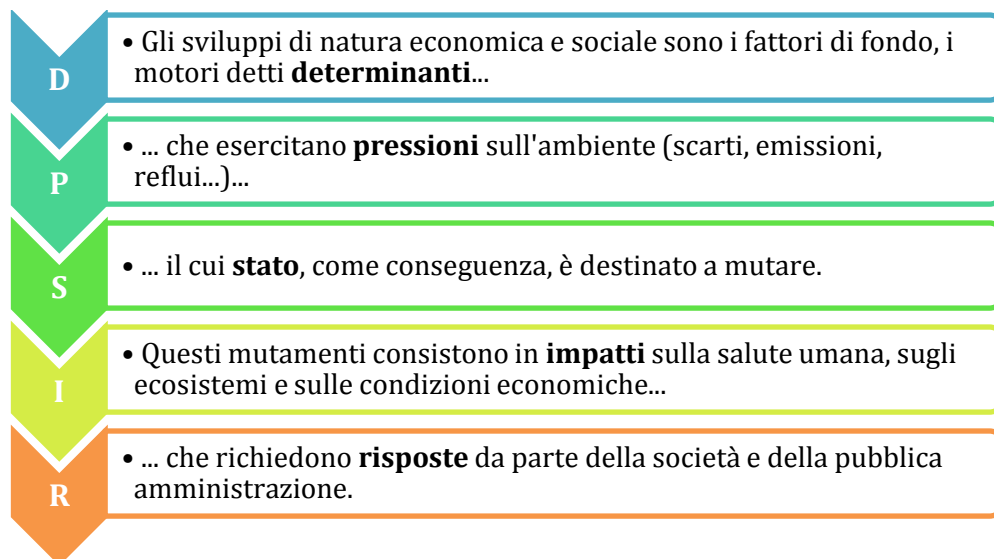


Figura 10: Il modello DPSIR

Nello specifico, le cinque categorie di indicatori sono descritte di seguito:

- **Determinanti:** *descrivono l'insieme delle attività e i comportamenti umani che originano pressioni sull'ambiente.* In esse rientrano tutte le attività antropiche rilevanti per lo sviluppo economico e per l'organizzazione sociale. I determinanti descrivono i fattori di fondo che influenzano una gamma di variabili pertinenti. Sono gli elementi a monte della catena DPSIR, quindi causa primaria degli effetti dell'attività umana sull'ambiente, e rispondono alla domanda: *perché sta succedendo?*
- **Pressioni:** *descrivono l'uso di risorse, l'uso del suolo, il rilascio di sostanze, di agenti fisici o biologici.* Le pressioni esercitate dalla società influenzano lo stato dell'ambiente e producono il cambiamento delle condizioni ambientali. Gli indicatori di pressione descrivono le variabili che direttamente causano i problemi ambientali, quantificando ciò che viene preso dall'ambiente (consumi di risorse naturali, occupazione di suolo) ed immesso nell'ambiente (emissioni e produzione di rifiuti). Si tratta, in genere, di indicatori di natura fisica che rispondono alle domande: *perché sta succedendo? ci sono cambiamenti?*
- **Stato:** *descrivono lo stato attuale dell'ambiente, ovvero della quantità e qualità dei fenomeni fisici, biologici, e chimici di una determinata area.* Gli indicatori di stato descrivono la condizione attuale dell'ambiente e lo stato di salute delle sue diverse componenti. Sono in genere espressi da parametri fisici, biologici o chimici, che rendono possibile un giudizio qualitativo oltre che quantitativo. Rispondono alla domanda: *cosa sta succedendo?*
- **Impatti:** *descrivono i cambiamenti che l'ecosistema naturale subisce a causa delle diverse pressioni.* Gli indicatori di impatto descrivono gli effetti ultimi dei cambiamenti di stato, ovvero le conseguenze del degrado ambientale sulla salute umana e sugli ecosistemi, oltre che sui sistemi economici e sociali. Sono indicatori di natura sia fisica sia socio-economica, e rispondono alla domanda: *cosa sta succedendo?*
- **Risposte:** *individuano gli sforzi della società, cioè l'insieme delle azioni e dei provvedimenti, attuati o previsti, volti a prevenire, compensare e migliorare o ridurre i cambiamenti sullo stato dell'ambiente.* Gli indicatori di risposta descrivono e quantificano gli sforzi della società per risolvere i problemi. Sono indicatori di prestazione direttamente legati all'implementazione di politiche o strategie che hanno come obiettivo ultimo la riduzione degli impatti ambientali. Rispondono alla domanda: *quali sono le risposte?*

Modello DPSIR

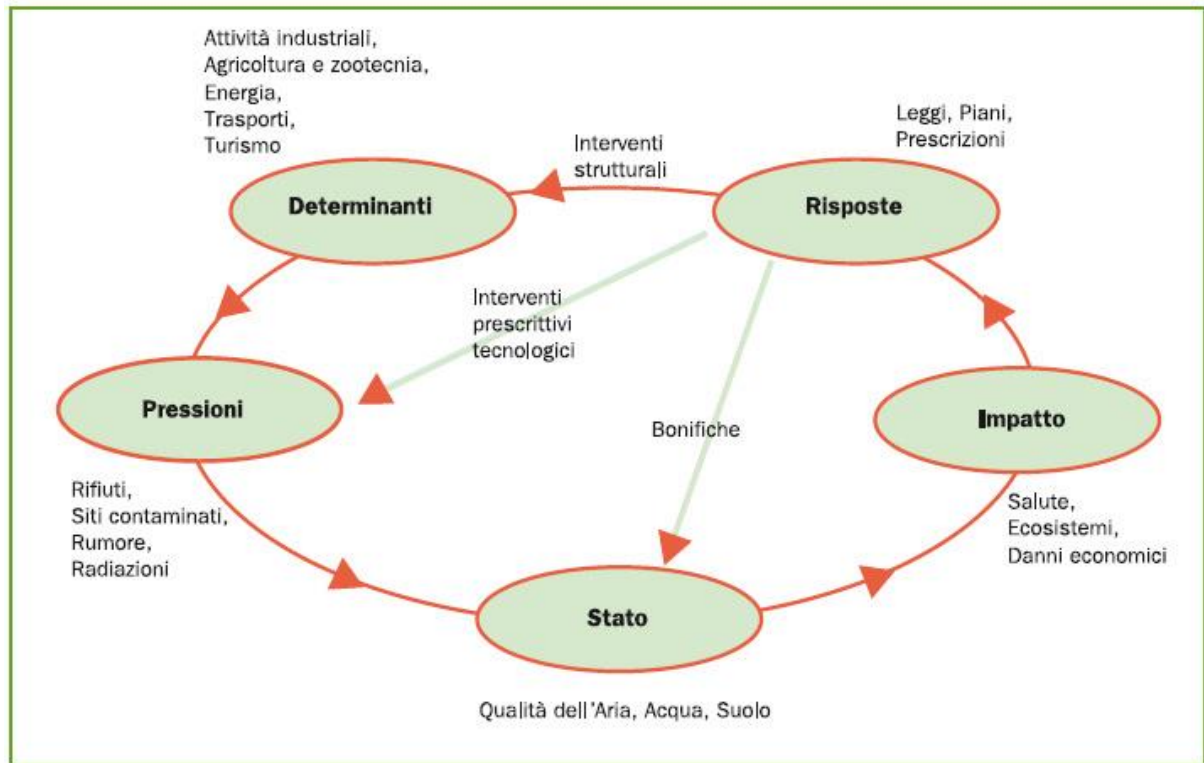


Figura 11: Schema del modello DPSIR (Fonte: ARPA Piemonte)

In senso più generale, i vari elementi del modello costituiscono i nodi di un percorso circolare di politica ambientale che comprende la percezione dei problemi, la formulazione dei provvedimenti politici, il monitoraggio dell'ambiente e la valutazione dell'efficacia dei provvedimenti adottati.

Il monitoraggio si presenta, quindi, come elemento fondamentale nel processo di analisi dell'ambiente e nella valutazione degli impatti di un'opera.

In particolare, esso svolge un ruolo indispensabile nella fase di studio dello stato dell'ambiente e, in seguito, della valutazione degli impatti effettivi.

4.2. NORMATIVA SUL MONITORAGGIO AMBIENTALE

4.2.1. NORMATIVA COMUNITARIA

L'Unione europea ha da sempre avuto una particolare attenzione nei confronti dei temi ambientali, sviluppando una politica ambientale che ha subito un'evoluzione nel corso degli anni. Negli anni settanta e ottanta l'attenzione era rivolta a temi tradizionali, come tutelare le specie a rischio e migliorare la qualità dell'aria o dell'acqua riducendo le emissioni di inquinanti.

Negli ultimi anni, invece, l'approccio della politica ambientale europea si è evoluto da una politica di risanamento ad una strategia di prevenzione del deterioramento ambientale, basata su un approccio più sistematico che tenga conto della correlazione tra i vari temi e della loro dimensione globale.

4.2.1.1. POLITICA AMBIENTALE EUROPEA IN MATERIA AMBIENTALE

Il Parlamento Europeo e il Consiglio dell'Unione Europea hanno recentemente approvato il 7° Programma d'azione ambientale europeo, "*Vivere bene, entro i limiti del nostro pianeta*", in continuità con il precedente VI° Programma, "*Ambiente 2010: il nostro futuro, la nostra scelta*".

Il VI° Programma d'azione ha infatti portato benefici all'ambiente e segnato un orientamento strategico per la politica europea. È però stata riscontrata la persistenza di tendenze non sostenibili nei settori:

- cambiamenti climatici;
- natura e biodiversità;
- ambiente, salute e qualità della vita;
- risorse naturali e rifiuti.

Il Programma, fondato sul principio di precauzione, sui principi di azione preventiva e di riduzione dell'inquinamento alla fonte e sul principio «chi inquina paga», individua i seguenti obiettivi:

1. proteggere, conservare e migliorare il capitale naturale dell'Unione;
2. trasformare l'Unione in un'economia a basse emissioni di carbonio, efficiente nell'impiego delle risorse, verde e competitiva;
3. proteggere i cittadini dell'Unione da pressioni e rischi d'ordine ambientale per la salute e il benessere;
4. sfruttare al massimo i vantaggi della legislazione dell'Unione in materia di ambiente migliorandone l'applicazione ;
5. migliorare le basi cognitive e scientifiche della politica ambientale dell'Unione;
6. garantire investimenti a sostegno delle politiche in materia di ambiente e clima e tener conto delle esternalità ambientali ;
7. migliorare l'integrazione ambientale e la coerenza delle politiche;
8. migliorare la sostenibilità delle città dell'Unione;
9. aumentare l'efficacia dell'azione unionale nell'affrontare le sfide ambientali e climatiche a livello internazionale .

Il monitoraggio ambientale si configura come il fulcro dell'obiettivo 5 "migliorare le basi cognitive e scientifiche della politica ambientale dell'Unione".

L'art. 66 del Programma, infatti, afferma che *"la politica ambientale dell'Unione si basa sul **monitoraggio ambientale**, nonché su dati, valutazioni e indicatori connessi all'attuazione della legislazione dell'Unione, ai quali si aggiungono i risultati della ricerca scientifica convenzionale e delle iniziative scientifiche promosse dai cittadini. Queste basi di conoscenza sono state notevolmente rafforzate e hanno portato sia i responsabili politici sia i cittadini ad acquisire maggiore consapevolezza e ad avere fiducia negli elementi giustificativi che sono il fondamento della politica, comprese le politiche in cui è stato applicato il principio di precauzione. Ciò ha facilitato una migliore comprensione delle sfide complesse in ambito ambientale e a livello sociale."*

Per migliorare le basi cognitive e scientifiche delle politiche ambientali dell'Unione, entro il 2020 il 7° PAA dovrà fare in modo che (art. 73):

- i responsabili politici e i soggetti interessati dispongano di informazioni più adeguate per sviluppare e attuare politiche ambientali e in materia di clima, incluse la comprensione delle incidenze ambientali delle attività umane e la misurazione dei costi e benefici dell'agire e dei costi del non agire ;
- sia notevolmente migliorata la nostra comprensione dei rischi ambientali e climatici emergenti e la nostra capacità di valutarli e gestirli;
- l'interfaccia tra politica ambientale e scienza risulti rafforzata, inclusa l'accessibilità dei dati per i cittadini e il contributo del coinvolgimento del pubblico nella ricerca scientifica («citizens' science»);
- sia rafforzata l'incidenza dell'Unione e dei suoi Stati membri nei forum internazionali di scienza-politica allo scopo di migliorare la base cognitiva per la politica ambientale internazionale.

4.2.1.2. STRUMENTI E PROGRAMMI EUROPEI PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE

L'Unione europea ha istituito numerosi strumenti e programmi per il monitoraggio e la raccolta dati ambientali.

Sistema comune di informazioni ambientali (SEIS)

Il sistema europeo integrato comune di dati e informazioni in materia ambientale (SEIS – *Shared Environmental Information System*) ha lo scopo di sostituire progressivamente i sistemi esistenti di notifica con sistemi basati sull'accesso, la condivisione e l'interoperabilità. Ciò permetterà di migliorare e semplificare la raccolta, lo scambio e l'utilizzo di dati e informazioni necessari all'elaborazione e realizzazione della politica e delle azioni concernenti l'ambiente.

Di seguito sono indicati i principi su cui dovrà basarsi il Sistema comune di informazioni ambientali (SEIS):

- le informazioni devono essere gestite quanto più possibile vicino alla fonte;
- le informazioni devono essere raccolte un'unica volta e condivise con gli altri soggetti interessati per più finalità;

- le informazioni devono essere prontamente accessibili alle autorità pubbliche e consentire loro di adempiere facilmente agli obblighi di comunicazione previsti dalla normativa ambientale;
- le informazioni devono essere prontamente accessibili agli utenti finali, e in particolare alle autorità pubbliche a tutti i livelli (dal livello locale a quello europeo), per consentire loro di valutare tempestivamente lo stato dell'ambiente e l'efficacia delle politiche perseguite e di elaborare nuove politiche;
- le informazioni devono inoltre essere accessibili per permettere agli utenti finali (autorità pubbliche e cittadini) di effettuare comparazioni al livello geografico più appropriato (ad es. a livello di paese, città, bacino idrografico) e di partecipare in maniera significativa all'elaborazione e all'attuazione della politica ambientale;
- le informazioni devono essere pienamente accessibili al grande pubblico, dopo attenta considerazione del livello appropriato di aggregazione e tenuto conto dei vincoli di riservatezza, e a livello nazionale devono essere accessibili nella lingua o nelle lingue del paese;
- la condivisione e il trattamento delle informazioni devono avvenire tramite comuni strumenti software, liberi e open-source.

Per rispondere a queste sfide e per sfruttare le possibilità offerte dall'evoluzione delle tecnologie dell'informazione sono state intraprese a livello europeo, e con l'impegno degli Stati membri, varie iniziative che contribuiscono all'attuazione dei principi del SEIS. Di seguito sono descritte alcune delle attività in corso.

- Nell'ambito degli attuali sviluppi della normativa ambientale di settore, si riconosce in misura crescente la necessità di adottare un approccio più moderno alla produzione, allo scambio e all'utilizzazione di dati e informazioni. Un esempio è costituito dal sistema di informazione sulle acque per l'Europa (*Water Information System for Europe - WISE*), che inizialmente era concepito come uno strumento di comunicazione dei dati nell'ambito della direttiva quadro sulle acque e che ora verrà esteso al fine di integrare, entro il 2010, i flussi di dati comunicati in base ad una serie di direttive in vigore o in preparazione in materia di risorse idriche e i dati statistici pertinenti.
- La direttiva 2007/2/CE che istituisce un'Infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea (INSPIRE). La direttiva, adottata nel marzo 2007, contiene disposizioni volte a migliorare l'accessibilità e l'interoperabilità dei dati territoriali. INSPIRE si basa su principi simili a quelli del SEIS e l'effettiva attuazione della direttiva permetterà di rimediare a gran parte delle attuali inefficienze riguardanti l'utilizzazione e l'utilizzabilità dei dati territoriali detenuti dalle autorità pubbliche. Occorre tuttavia tener conto del fatto che INSPIRE non tratterà direttamente dati non territoriali o non numerici, non garantirà di per sé una ristrutturazione organizzativa all'interno degli Stati membri, e non comporterà direttamente un miglioramento della qualità e della comparabilità dei dati.
- La direttiva 2003/4/CE sull'accesso del pubblico all'informazione ambientale (direttiva "Aarhus") dà ai cittadini il diritto di accedere alle informazioni ambientali detenute o prodotte dalle autorità pubbliche, ivi comprese le informazioni sullo stato dell'ambiente, ma anche sulle politiche o sulle misure adottate e sullo stato della salute e della sicurezza umana nella misura in cui possa essere influenzato dallo stato dell'ambiente. I cittadini che chiedono informazioni hanno il diritto di ottenerle entro un mese dalla domanda e senza necessità di

fornire giustificazioni. Inoltre, le pubbliche autorità sono tenute a diffondere attivamente le informazioni ambientali in loro possesso.

- L'iniziativa GMES (*Global Monitoring for Environment and Security* – Monitoraggio globale per l'ambiente e la sicurezza), ora evoluto in *Copernicus*, ha lo scopo di fornire servizi informativi operativi basati su dati derivanti dal monitoraggio terrestre ottenuti da satelliti e da osservazioni in situ su atmosfera, acqua e suolo. Tali servizi risponderanno alle esigenze specifiche dei decisori politici a tutti i livelli, dall'UE al livello locale. Inizialmente GMES si concentra sullo sviluppo di tre servizi prioritari (monitoraggio terrestre, monitoraggio marino e gestione delle emergenze); recentemente sono iniziati i preparativi per la messa in opera di un quarto servizio, riguardante l'atmosfera. I servizi prioritari rappresentano una buona occasione per consolidare e migliorare i sistemi di monitoraggio esistenti in Europa, giacché aiutano ad individuare e colmare le lacune esistenti nei dati e nei materiali informativi disponibili e ad assicurare la loro operatività in condizioni sostenibili.
- Sia la Comunità che gli Stati membri sono membri a pieno titolo del Gruppo di osservazione della Terra (*Group on Earth Observation* - GEO), che ha per scopo la realizzazione di un Sistema di sistemi per l'osservazione globale della Terra (*Global Earth Observation System of Systems* - GEOSS), e sono quindi tenuti ad applicare i principi del GEO in materia di interoperabilità e condivisione dei dati. Le prime attività realizzate in questo settore hanno riguardato il miglioramento dell'accesso ai dati e della loro condivisione, lo sviluppo dell'interoperabilità tra sistemi tramite norme internazionali e altri accordi di interoperabilità, lo sviluppo di sistemi per la condivisione e l'utilizzo di dati e materiali informativi, la definizione di specifiche dettagliate e la realizzazione di dimostrazioni di fattibilità dell'architettura sottostante e delle componenti di interfaccia utente.
- L'Agenzia europea dell'ambiente svolge un ruolo determinante nella raccolta e nella diffusione delle informazioni ambientali, con l'aiuto della sua rete europea d'informazione e di osservazione in materia ambientale (EIONET). La rete EIONET riunisce circa 900 esperti di oltre 300 agenzie nazionali dell'ambiente e altri organismi attivi nel campo dell'informazione ambientale in 37 paesi europei, nonché cinque centri tematici europei che trattano specifici temi ambientali. La rete può inoltre contare su un'infrastruttura per agevolare e migliorare i flussi di dati e informazioni (Reportnet), che integra vari servizi web e permette una distribuzione delle responsabilità. In una prima fase Reportnet è stata utilizzata essenzialmente per la comunicazione di dati ambientali all'AEA, ma attualmente ospita parte delle informazioni ambientali trasmesse alla Commissione.

4.2.1.3. DIRETTIVA 2000/60/CE (DIRETTIVA QUADRO SULLE ACQUE – DQA)

La Direttiva 2000/60/CE (Water Framework Directive – Direttiva Quadro sulle Acque) definita anche WFD (o DQA), istituisce a livello europeo un quadro di riferimento normativo per una efficace gestione e tutela delle risorse idriche attraverso la definizione di piani di gestione a scala di distretto idrografico, finalizzati alla pianificazione delle attività di monitoraggio e delle misure necessarie per il raggiungimento dell'obiettivo di qualità fissato a livello europeo e corrispondente ad uno stato "buono".

I principali obiettivi enunciati dalla Direttiva Europea sulle acque sono:

- impedire un ulteriore deterioramento per proteggere e migliorare lo stato degli ecosistemi acquatici e degli ecosistemi terrestri e delle zone umide direttamente dipendenti dagli ecosistemi acquatici sotto il profilo del fabbisogno idrico;
- agevolare un utilizzo idrico sostenibile fondato sulla protezione a lungo termine delle risorse idriche disponibili;
- proteggere e migliorare l'ambiente acquatico, anche attraverso misure specifiche per la graduale riduzione degli scarichi, delle emissioni e delle perdite degli inquinanti specifici individuati per la regione Piemonte e delle sostanze "prioritarie" e "prioritarie pericolose" individuate dalla normativa europea l'arresto o la graduale eliminazione degli scarichi, delle emissioni e delle perdite di sostanze prioritarie pericolose;
- assicurare la graduale riduzione dell'inquinamento delle acque sotterranee;
- contribuire a mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità;
- garantire una fornitura sufficiente di acque superficiali e sotterranee di buona qualità per un utilizzo idrico sostenibile, equilibrato ed equo.

La Direttiva stabilisce che i singoli Stati Membri affrontino la tutela delle acque a livello di "bacino idrografico" e l'unità territoriale di riferimento per la gestione del bacino è individuata nel "distretto idrografico", area di terra e di mare, costituita da uno o più bacini idrografici limitrofi e dalle rispettive acque sotterranee e costiere.

In ciascun distretto idrografico gli Stati membri devono adoperarsi affinché vengano effettuati:

- un'analisi delle caratteristiche del distretto
- un esame dell'impatto provocato dalle attività umane sullo stato delle acque superficiali e sotterranee
- un'analisi economica dell'utilizzo idrico.

Relativamente ad ogni distretto, deve essere predisposto un programma di misure che tenga conto delle analisi effettuate e degli obiettivi ambientali fissati dalla Direttiva, con lo scopo ultimo di raggiungere uno "stato buono" di tutte le acque entro il 2015 (salvo casi particolari espressamente previsti dalla Direttiva).

I programmi di misure sono indicati nei Piani di Gestione che gli Stati Membri devono predisporre per ogni singolo bacino idrografico e che rappresenta pertanto lo strumento di programmazione/attuazione per il raggiungimento degli obiettivi stabiliti dalla direttiva.

L'art. 8 si riferisce al dello stato delle acque superficiali, dello stato delle acque sotterranee e delle aree protette.

Articolo 8

Monitoraggio dello stato delle acque superficiali, dello stato delle acque sotterranee e delle aree protette

1. Gli Stati membri provvedono a elaborare programmi di monitoraggio dello stato delle acque al fine di definire una visione coerente e globale dello stato delle acque all'interno di ciascun distretto idrografico:

- *nel caso delle acque superficiali, i programmi in questione riguardano*
 - *il volume e il livello o nel caso delle acque superficiali, i programmi in questione riguardano*
 - *il volume e il livello o la proporzione del flusso idrico nella misura adeguata ai fini dello stato ecologico e chimico e del potenziale ecologico*
- *nel caso delle acque sotterranee, riguardano il monitoraggio dello stato chimico e quantitativo,*
- *nel caso delle aree protette, i suddetti programmi sono integrati dalle specifiche contenute nella normativa comunitaria in base alla quale le singole aree protette sono state create.*

2. I programmi devono essere operativi entro sei anni dall'entrata in vigore della presente direttiva, se non specificato diversamente nella pertinente normativa. Il monitoraggio in questione è effettuato secondo le prescrizioni di cui all'allegato V.

3. Sono adottate specifiche tecniche e metodi uniformi per analizzare e monitorare lo stato delle acque. Tali misure intese a modificare elementi non essenziali della presente direttiva, completandola, sono adottate secondo la procedura di regolamentazione con controllo di cui all'articolo 21, paragrafo 3.

Di seguito si riporta il testo dell'Allegato V, nelle parti inerenti il monitoraggio di acque superficiali e sotterranee.

1. STATO DELLE ACQUE SUPERFICIALI

[...]

1.3. Monitoraggio dello stato ecologico e chimico delle acque superficiali

La rete di monitoraggio delle acque superficiali è istituita a norma dei requisiti dell'articolo 8. Essa è progettata in modo da fornire una panoramica coerente e complessiva dello stato ecologico e chimico all'interno di ciascun bacino idrografico e permettere la classificazione dei corpi idrici in cinque classi, secondo le definizioni normative di cui alla sezione 1.2. Gli Stati membri forniscono una o più mappe indicanti la rete di monitoraggio delle acque superficiali nel piano di gestione dei bacini idrografici.

In base alla caratterizzazione e alla valutazione dell'impatto svolte a norma dell'articolo 5 e all'allegato II, gli Stati membri definiscono, per ciascun periodo cui si applica un piano di gestione dei bacini idrografici, un programma di monitoraggio di sorveglianza e un programma di monitoraggio operativo. In taluni casi può essere necessario istituire anche programmi di monitoraggio d'indagine.

Gli Stati membri sorvegliano i parametri indicativi dello stato di ogni elemento di qualità pertinente. Nel selezionare i parametri relativi agli elementi di qualità biologica, gli Stati membri individuano il livello tassonomico appropriato per ottenere la necessaria attendibilità e precisione nella classificazione degli elementi di qualità. Nel piano sono fornite stime del livello di attendibilità e precisione dei risultati garantito dai programmi di monitoraggio.

1.3.1. Progettazione del monitoraggio di sorveglianza

Obiettivo

Gli Stati membri istituiscono programmi di monitoraggio di sorveglianza al fine di ottenere informazioni per:

- integrare e convalidare la procedura di valutazione dell'impatto di cui all'allegato II,
- la progettazione efficace ed effettiva dei futuri programmi di monitoraggio,
- la valutazione delle variazioni a lungo termine delle condizioni naturali,
- la valutazione delle variazioni a lungo termine risultanti da una diffusa attività di origine antropica.

I risultati di tale monitoraggio sono riesaminati e utilizzati, insieme alla procedura di valutazione dell'impatto di cui all'allegato II, per determinare i requisiti per i programmi di monitoraggio dei piani di gestione dei bacini idrografici in corso e successivi.

Selezione dei punti di monitoraggio

Il monitoraggio di sorveglianza è realizzato su un numero sufficiente di corpi idrici superficiali, in modo da fornire una valutazione dello stato complessivo delle acque superficiali di ciascun bacino o sotto-bacino idrografico compreso nel distretto idrografico. Nel selezionare i corpi idrici, gli Stati membri si assicurano che il monitoraggio sia effettuato, secondo i casi, in:

- punti in cui la proporzione del flusso idrico è significativa nell'ambito del distretto idrografico considerato nell'insieme, compresi punti di grandi fiumi il cui bacino idrografico è superiore a 2500 km²,
- punti in cui il volume d'acqua presente è significativo nell'ambito del distretto idrografico, compresi i grandi laghi e laghi artificiali,
- corpi idrici significativi situati a cavallo della frontiera di uno Stato membro,
- siti identificati nel quadro della decisione 77/795/CEE sullo scambio di informazioni,
- altri siti necessari per valutare la quantità d'inquinanti trasferiti attraverso le frontiere degli Stati membri e nell'ambiente marino.

Selezione degli elementi di qualità

Per ciascun sito di monitoraggio, il monitoraggio di sorveglianza è effettuato per un anno durante il periodo contemplato dal piano di gestione del bacino idrico per:

- i parametri indicativi di tutti gli elementi di qualità biologica,
- i parametri indicativi di tutti gli elementi di qualità idromorfologica,
- i parametri indicativi di tutti gli elementi generali di qualità fisico-chimica,
- gli inquinanti che figurano nell'elenco di priorità scaricati nel bacino idrografico o nel sotto-bacino,
- gli altri inquinanti scaricati in quantitativi significativi nel bacino idrografico o nel sotto-bacino,

salvo che il monitoraggio di sorveglianza precedente abbia evidenziato che il corpo interessato ha raggiunto uno stato buono e che dall'esame dell'impatto delle attività antropiche di cui all'allegato II non risulti alcuna variazione degli impatti sul corpo. In tal caso il monitoraggio di sorveglianza è effettuato ogni tre piani di gestione del bacino idrografico.

1.3.2. Progettazione del monitoraggio operativo

Il monitoraggio operativo è effettuato al fine di:

- stabilire lo stato dei corpi che si reputa rischiano di non soddisfare gli obiettivi ambientali;
- valutare qualsiasi variazione dello stato di tali corpi, risultante dai programmi di misure.

Il programma può essere modificato durante il periodo previsto dal piano di gestione del bacino idrografico sulla scorta delle informazioni ottenute nell'ambito dei requisiti fissati all'allegato II o nell'ambito del presente allegato, in particolare per consentire una riduzione della frequenza, qualora l'impatto si rivelasse non significativo o non sussistesse più la pressione pertinente.

Selezione dei siti di monitoraggio

Il monitoraggio operativo è effettuato per tutti i corpi idrici che, sulla base della valutazione dell'impatto svolta in base all'allegato II o del monitoraggio di sorveglianza, sono classificati a rischio di non soddisfare gli obiettivi ambientali di cui all'articolo 4 e per i corpi idrici nei quali sono scaricate le sostanze riportate nell'elenco di priorità. Per le sostanze riportate nell'elenco di priorità i punti di monitoraggio sono selezionati secondo la normativa che stabilisce gli standard di qualità ambientale pertinenti. In tutti gli altri casi, incluse le sostanze che figurano nell'elenco di priorità per le quali tale normativa non prevede orientamenti specifici, i punti di monitoraggio sono selezionati come segue:

- per i corpi soggetti a un rischio di pressioni significative da parte di una fonte puntuale, in ogni corpo si situano punti di monitoraggio sufficienti a valutare ampiezza e impatto delle pressioni della fonte puntuale. Se il corpo è esposto a varie pressioni di una fonte puntuale, i punti di monitoraggio possono essere selezionati per valutare ampiezza e impatto dell'insieme delle pressioni,
- per i corpi soggetti a un rischio di pressioni significative da parte di una fonte diffusa, nell'ambito di una selezione di corpi si situano punti di monitoraggio sufficienti a valutare ampiezza e impatto delle pressioni della fonte diffusa. La selezione dei corpi deve essere fatta in modo che essi siano rappresentativi dei rischi relativi al verificarsi delle pressioni della fonte diffusa e dei relativi rischi di non raggiungere un buono stato delle acque superficiali,
- per i corpi esposti a un rischio di pressione idromorfologica significativa, nell'ambito di una selezione di corpi si situano punti di monitoraggio sufficienti a valutare ampiezza e impatto delle pressioni idromorfologiche. La selezione dei corpi è indicativa dell'impatto globale della pressione idromorfologica cui sono esposti tutti i corpi.

Selezione degli elementi di qualità

Per valutare l'ampiezza della pressione cui sono esposti i corpi idrici superficiali, gli Stati membri effettuano il monitoraggio degli elementi di qualità indicativi delle pressioni cui il corpo idrico o i corpi idrici sono esposti. Al fine di valutare l'impatto di tali pressioni gli Stati membri, ove pertinente, effettuano il monitoraggio:

- dei parametri indicativi dell'elemento o degli elementi di qualità biologica più sensibili alle pressioni cui sono esposti i corpi idrici,
- di tutte le sostanze prioritarie scaricate, e degli altri inquinanti scaricati in quantitativi significativi,
- dei parametri indicativi dell'elemento di qualità idromorfologica più sensibile alle pressioni individuate.

1.3.3. Progettazione del monitoraggio di indagine

Obiettivo

Il monitoraggio di indagine è effettuato:

- quando sono sconosciute le ragioni di eventuali superamenti,

- quando il monitoraggio di sorveglianza indica che per un corpo idrico gli obiettivi di cui all'articolo 4 non saranno probabilmente raggiunti e il monitoraggio operativo non è ancora stato stabilito, al fine di appurare le cause che hanno impedito al corpo idrico o ai corpi idrici di raggiungere gli obiettivi ambientali, o
- per valutare l'ampiezza e gli impatti dell'inquinamento accidentale

e costituisce la base per l'elaborazione di un programma di misure volte al raggiungimento degli obiettivi ambientali e di misure specifiche atte a porre rimedio agli effetti dell'inquinamento accidentale.

1.3.4. Frequenza temporale del monitoraggio

Nel periodo coperto dal monitoraggio di sorveglianza vanno applicate le frequenze sottoindicate per il monitoraggio dei parametri indicativi degli elementi di qualità fisico-chimica, a meno che le conoscenze tecniche e le perizie degli esperti non giustifichino intervalli più lunghi. Riguardo agli elementi di qualità biologica o idromorfologica, il monitoraggio è effettuato almeno una volta nell'arco del periodo coperto dal monitoraggio di sorveglianza.

Nell'ambito del monitoraggio operativo, gli Stati membri fissano per ciascun parametro una frequenza di monitoraggio che garantisca dati sufficienti a delineare una valutazione attendibile dello stato del pertinente elemento qualitativo. In linea di massima, il monitoraggio è effettuato a intervalli non superiori a quelli indicati nella tabella in appresso, a meno che le conoscenze tecniche e le perizie degli esperti non giustifichino intervalli più lunghi.

Le frequenze sono scelte in modo da garantire un livello accettabile di attendibilità e precisione. Il livello di attendibilità e precisione conseguito dal sistema di monitoraggio è definito nel piano di gestione del bacino idrografico.

Per il monitoraggio sono fissate frequenze che tengono conto della variabilità dei parametri derivante da condizioni sia naturali che antropiche. Il momento in cui effettuare il monitoraggio è scelto in modo da minimizzare l'incidenza delle variazioni stagionali sul risultato ed assicurare quindi che quest'ultimo rispecchi i mutamenti intervenuti nel corpo idrico a seguito di cambiamenti dovuti alla pressione antropica. Per conseguire quest'obiettivo sono effettuati, se necessario, monitoraggi supplementari in stagioni diverse del medesimo anno.

Elementi di qualità	Fiumi	Laghi	Acque di transizione	Acque costiere
Biologica				
Fitoplancton	6 mesi	6 mesi	6 mesi	6 mesi
Altra flora acquatica	3 anni	3 anni	3 anni	3 anni
Macroinvertebrati	3 anni	3 anni	3 anni	3 anni
Pesci	3 anni	3 anni	3 anni	
Idromorfologica				
Continuità	6 anni			
Idrologia	continuo	1 mese		
Morfologia	6 anni	6 anni	6 anni	6 anni
Fisico-chimica				
Condizioni termiche	3 mesi	3 mesi	3 mesi	3 mesi
Ossigenazione	3 mesi	3 mesi	3 mesi	3 mesi
Salinità	3 mesi	3 mesi	3 mesi	
Stato dei nutrienti	3 mesi	3 mesi	3 mesi	3 mesi
Stato di acidificazione	3 mesi	3 mesi		
Altri inquinanti	3 mesi	3 mesi	3 mesi	3 mesi
Sostanze dell'elenco di priorità	1 mese	1 mese	1 mese	1 mese

1.3.5. Requisiti supplementari per il monitoraggio delle aree protette

I programmi di monitoraggio di cui sopra sono integrati per garantire il soddisfacimento dei requisiti seguenti.

Punti di estrazione per la produzione di acqua potabile

I corpi idrici superficiali individuati a norma dell'articolo 7 che forniscono in media più di 100 m³ al giorno sono designati come siti di monitoraggio e sono sottoposti all'eventuale monitoraggio supplementare necessario al soddisfacimento dei requisiti dell'articolo 8. Il monitoraggio in tali corpi riguarda tutti gli scarichi di sostanze dell'elenco di priorità e gli scarichi in quantità significativa di qualsiasi altra sostanza che possano incidere sullo stato del corpo idrico e che vengono controllati a norma della direttiva sull'acqua potabile. Il monitoraggio segue le frequenze indicate nella tabella seguente.

Comunità servita	Frequenza
< 10 000	4 volte l'anno
da 10 000 a 30 000	8 volte l'anno
> 30 000	12 volte l'anno

Aree di protezione dell'habitat e delle specie

I corpi idrici che formano queste aree sono compresi nel programma di monitoraggio operativo di cui sopra se, in base alla valutazione dell'impatto e al monitoraggio di sorveglianza, si reputa che essi rischino di non conseguire gli obiettivi ambientali di cui all'articolo 4. È effettuato il monitoraggio per valutare la grandezza e l'impatto di tutte le pertinenti pressioni significative esercitate su detti corpi e, se necessario, per rilevare le variazioni del loro stato conseguenti ai programmi di misure. Il monitoraggio prosegue finché le aree non soddisfano i requisiti in materia di acque sanciti dalla normativa in base alla quale esse sono designate e finché non sono raggiunti gli obiettivi di cui all'articolo 4.

[...]

2. ACQUE SOTTERRANEE

2.1. Stato quantitativo delle acque sotterranee

2.1.1. Parametro per la classificazione dello stato quantitativo

Regime di livello delle acque sotterranee

2.1.2. Definizione di stato quantitativo

Elementi	Stato buono
Livello delle acque sotterranee	<p>Il livello di acque sotterranee nel corpo sotterraneo è tale che la media annua dell'estrazione a lungo termine non esaurisca le risorse idriche sotterranee disponibili. Di conseguenza, il livello delle acque sotterranee non subisce alterazioni antropiche tali da:</p> <ul style="list-style-type: none"> — impedire il conseguimento degli obiettivi ecologici specificati all'articolo 4 per le acque superficiali connesse, — comportare un deterioramento significativo della qualità di tali acque, — recare danni significativi agli ecosistemi terrestri direttamente dipendenti dal corpo idrico sotterraneo. <p>Inoltre, alterazioni della direzione di flusso risultanti da variazioni del livello possono verificarsi, su base temporanea o permanente, in un'area delimitata nello spazio; tali inversioni non causano tuttavia l'intrusione di acqua salata o di altro tipo né imprimono alla direzione di flusso alcuna tendenza antropica duratura e chiaramente identificabile che possa determinare siffatte intrusioni.</p>

2.2. Monitoraggio dello stato quantitativo delle acque sotterranee

2.2.1. Rete di monitoraggio del livello delle acque sotterranee

La rete di monitoraggio delle acque sotterranee è istituita a norma dei requisiti di cui agli articoli 7 e 8. Essa è progettata in modo da fornire una stima affidabile dello stato quantitativo di tutti i corpi idrici o gruppi di corpi idrici sotterranei, compresa la stima delle risorse idriche sotterranee disponibili. Gli Stati membri inseriscono nel piano di gestione del bacino idrografico una o più mappe che riportano la rete di monitoraggio delle acque sotterranee.

2.2.2. Intervallo spaziale tra i siti di monitoraggio

La rete si articola in sufficienti punti di monitoraggio rappresentativi per stimare il livello delle acque sotterranee di ciascun corpo idrico o gruppo di corpi idrici sotterranei, tenuto conto delle variazioni del ravvenamento a breve e lungo termine e in particolare:

- per i corpi idrici sotterranei che si ritiene rischino di non conseguire gli obiettivi ambientali di cui all'articolo 4, fissa un intervallo spaziale tra i punti di monitoraggio sufficiente a valutare l'impatto delle estrazioni e degli scarichi sul livello delle acque sotterranee,
- per i corpi idrici sotterranei le cui acque sotterranee fluiscono attraverso la frontiera di uno Stato membro, designa sufficienti punti di monitoraggio per stimare la direzione e la velocità del flusso di acque sotterranee attraverso la frontiera dello Stato membro.

2.2.3. Frequenza temporale del monitoraggio

La frequenza dei rilevamenti deve essere sufficiente a permettere di stimare lo stato quantitativo di ciascun corpo idrico o gruppo di corpi idrici sotterranei, tenuto conto delle variazioni del ravvenamento a breve e lungo termine. In particolare:

- per i corpi idrici sotterranei che si ritiene rischino di non conseguire gli obiettivi ambientali di cui all'articolo 4, è fissata una frequenza delle misurazioni sufficiente a valutare l'impatto delle estrazioni e degli scarichi sul livello delle acque sotterranee,
- per i corpi idrici sotterranei le cui acque sotterranee fluiscono attraverso la frontiera di uno Stato membro, è fissata una frequenza delle misurazioni sufficiente a stimare la direzione e la velocità del flusso di acque sotterranee attraverso la frontiera dello Stato membro.

2.2.4. Interpretazione e presentazione dello stato quantitativo delle acque sotterranee

I risultati ottenuti grazie alla rete di monitoraggio per un corpo idrico o gruppo di corpi idrici sotterranei sono utilizzati per calcolare lo stato quantitativo del corpo o dei corpi in questione. Fatto salvo il punto 2.5, gli Stati membri forniscono una mappa basata sulla conseguente constatazione dello stato quantitativo delle acque sotterranee, conforme allo schema cromatico seguente:

buono: verde

scarso: rosso.

2.3. Stato chimico delle acque sotterranee

2.3.1. Parametri per la determinazione dello stato chimico delle acque sotterranee

Conduttività

Concentrazioni di inquinanti

2.3.2. Definizione di buono stato chimico delle acque sotterranee

Elementi	Stato buono
Generali	<p>La composizione chimica del corpo idrico sotterraneo è tale che le concentrazioni di inquinanti:</p> <ul style="list-style-type: none"> — sottoindicate non presentano effetti di intrusione salina o di altro tipo, — non superano gli standard di qualità applicabili ai sensi di altri atti normativi comunitari, ai sensi dell'articolo 17, — non sono tali da impedire il conseguimento degli obiettivi ambientali di cui all'articolo 4 per le acque superficiali connesse né da comportare un deterioramento significativo della qualità ecologica o chimica di tali corpi né da recare danni significativi agli ecosistemi terrestri direttamente dipendenti dal corpo idrico sotterraneo.
Conduttività	<p>Le variazioni della conduttività non indicano intrusioni saline o di altro tipo nel corpo idrico sotterraneo.</p>

2.4. Monitoraggio dello stato chimico delle acque sotterranee

2.4.1. Rete di monitoraggio delle acque sotterranee

La rete di monitoraggio delle acque sotterranee è istituita a norma dei requisiti degli articoli 7 e 8. Essa è progettata in modo da fornire una panoramica coerente e complessiva dello stato chimico delle acque sotterranee all'interno di ciascun bacino idrografico e da rilevare eventuali tendenze antropiche ascendenti a lungo termine riguardo agli inquinanti.

In base alla caratterizzazione e alla valutazione dell'impatto svolte a norma dell'articolo 5 e dell'allegato II, gli Stati membri definiscono un programma di monitoraggio di sorveglianza per ciascun periodo cui si applica un piano di gestione del bacino idrografico. I risultati del programma sono utilizzati per elaborare un programma di monitoraggio operativo da applicare per il restante periodo coperto dal piano.

Il piano riporta le stime sul livello di attendibilità e precisione dei risultati ottenuti con i programmi di monitoraggio.

2.4.2. Monitoraggio di sorveglianza

Obiettivo

Il monitoraggio di sorveglianza è finalizzato a:

- integrare e convalidare la procedura di valutazione dell'impatto,
- fornire informazioni utili per la valutazione delle tendenze a lungo termine risultanti sia da mutamenti delle condizioni naturali che dall'attività dell'uomo.

Selezione dei siti di monitoraggio

È selezionato un numero sufficiente di siti di monitoraggio per:

- i corpi classificati a rischio in base alla caratterizzazione effettuata a norma dell'allegato II, e
- i corpi che attraversano una frontiera degli Stati membri.

Selezione dei parametri

In tutti i corpi idrici sotterranei selezionati il monitoraggio riguarda tutti i parametri fondamentali seguenti:

- tenore di ossigeno,
- valore del pH,
- conduttività,
- nitrati,
- ione ammonio.

Per i corpi che, in base all'allegato II, si ritiene rischioso pesantemente di non raggiungere lo stato buono il monitoraggio riguarda anche i parametri indicativi dell'impatto delle pressioni in questione.

I corpi idrici transfrontalieri sono controllati rispetto ai parametri utili per tutelare tutti gli usi cui è destinato il flusso di acque sotterranee.

2.4.3. Monitoraggio operativo

Obiettivo

Il monitoraggio operativo è effettuato nei periodi che intercorrono tra due programmi di monitoraggio di sorveglianza, al fine di:

- constatare lo stato chimico di tutti i corpi idrici o gruppi di corpi idrici sotterranei classificati a rischio;
- rilevare le eventuali tendenze antropiche ascendenti a lungo termine riguardo alla concentrazione di inquinanti.

Selezione dei siti di monitoraggio

Il monitoraggio operativo è effettuato su tutti i corpi idrici o gruppi di corpi idrici sotterranei che, in base alla valutazione dell'impatto di cui all'allegato II e al monitoraggio di sorveglianza, risulta rischioso di non conseguire gli obiettivi di cui all'articolo 4. I siti di monitoraggio sono selezionati anche previa valutazione della rappresentatività dei dati ivi rilevati rispetto alla qualità del corpo o corpi idrici sotterranei interessati.

Frequenza temporale del monitoraggio

Il monitoraggio operativo è effettuato nei periodi che intercorrono fra due programmi di monitoraggio di sorveglianza a una frequenza sufficiente a rilevare gli impatti delle pressioni in questione, e comunque almeno una volta l'anno.

2.4.4. Rilevamento delle tendenze riguardo agli inquinanti

Per rilevare le eventuali tendenze antropiche ascendenti a lungo termine riguardo alla concentrazione degli inquinanti, e per invertirle, gli Stati membri si valgono dei dati ottenuti sia con il monitoraggio di sorveglianza che con quello operativo. È stabilito un anno o periodo di riferimento rispetto al quale calcolare le tendenze rilevate. Queste sono calcolate per un corpo idrico sotterraneo o, se del caso, per un gruppo di corpi idrici sotterranei. L'inversione di una tendenza deve essere statisticamente dimostrata e deve essere dichiarato il grado di attendibilità associato al rilevamento.

2.4.5. Interpretazione e presentazione dello stato chimico delle acque sotterranee

Per stabilire lo stato, i risultati ottenuti nei singoli punti di monitoraggio all'interno di un corpo idrico sotterraneo sono aggregati per il corpo nel suo complesso. Fatte salve le direttive applicabili, perché a un corpo idrico sotterraneo sia riconosciuto lo stato buono relativamente ai parametri chimici per i quali la normativa comunitaria fissa standard di qualità ambientale:

- deve essere calcolata la media dei risultati del monitoraggio ottenuti in ciascun punto del corpo idrico o gruppo di corpi idrici sotterranei,
- a norma dell'articolo 17, la conformità al buono stato chimico delle acque sotterranee deve essere dimostrata dalle medie così calcolate.

Fatto salvo il punto 2.5, gli Stati membri forniscono una mappa dello stato chimico delle acque sotterranee, conforme allo schema cromatico seguente:

- buono: verde
- scarso: rosso.

Gli Stati membri indicano inoltre con un punto nero sulla mappa i corpi idrici sotterranei cui è impressa, riguardo alle concentrazioni di un qualsiasi inquinante, una tendenza ascendente significativa e duratura dovuta all'impatto di un'attività umana. L'inversione di una di queste tendenze è segnalata sulla mappa da un punto blu.

Tali mappe sono incorporate nel piano di gestione del bacino idrografico.

2.5. Presentazione dello stato delle acque sotterranee

Gli Stati membri inseriscono nel piano di gestione del bacino idrografico una mappa che riporta, per ciascun corpo idrico o gruppo di corpi idrici sotterranei, sia lo stato quantitativo che quello chimico, secondo lo schema cromatico prescritto ai punti 2.2.4 e 2.4.5. Gli Stati membri possono evitare di fornire mappe distinte in applicazione dei punti 2.2.4 e 2.4.5, ma in tal caso devono inoltre indicare sulla mappa prevista al punto 2.4.5, secondo i requisiti di cui al medesimo punto, i corpi cui è impressa una tendenza ascendente significativa e duratura riguardo alla concentrazione di un qualsiasi inquinante o l'eventuale inversione di una tale tendenza.

ALLEGATO VIII

ELENCO INDICATIVO DEI PRINCIPALI INQUINANTI

1. Composti organoalogenati e sostanze che possano dare origine a tali composti nell'ambiente acquatico
2. Composti organofosforici
3. Composti organostannici
4. Sostanze e preparati, o i relativi prodotti di decomposizione, di cui è dimostrata la cancerogenicità o mutagenicità e che possono avere ripercussioni sulle funzioni steroidea, tiroidea, riproduttiva o su altre funzioni endocrine connesse nell'ambiente acquatico o attraverso di esso
5. Idrocarburi persistenti e sostanze organiche tossiche persistenti e bioaccumulabili
6. Cianuri
7. Metalli e relativi composti
8. Arsenico e relativi composti
9. Biocidi e prodotti fitosanitari
10. Materia in sospensione
11. Sostanze che contribuiscono all'eutrofizzazione (in particolare nitrati e fosfati)
12. 12. Sostanze che hanno effetti negativi sul bilancio dell'ossigeno (e che possono essere misurate con parametri come la BOD, COD, ecc.)

ALLEGATO IX

VALORI LIMITE DI EMISSIONE E STANDARD DI QUALITÀ AMBIENTALE

I "valori limite" e gli "obiettivi di qualità" stabiliti nell'ambito delle direttive derivate dalla direttiva 76/464/CEE sono considerati, rispettivamente, come valori limite di emissione e standard di qualità ambientale ai fini della presente direttiva. Essi sono stabiliti dalle direttive indicate in appresso:

- i) direttiva sugli scarichi di mercurio (82/176/CEE)(1);
- ii) direttiva sugli scarichi di cadmio (83/513/CEE)(2);
- iii) direttiva sul mercurio (84/156/CEE)(3);
- iv) direttiva sugli scarichi di esaclorocicloesano (84/491/CEE)(4);
- v) direttiva sugli scarichi di talune sostanze pericolose (86/280/CEE)(5).

(1) GU L 81 del 27.3.1982, pag. 29.

(2) GU L 291 del 24.10.1983, pag. 1.

(3) GU L 74 del 17.3.1984, pag. 49.

(4) GU L 274 del 17.10.1984, pag. 11.

(5) GU L 181 del 4.7.1986, pag. 16.

ALLEGATO X (Aggiornato alla Direttiva 2008/105/CE)**ELENCO DELLE SOSTANZE PRIORITARIE IN MATERIA DI ACQUE**

Numero	Numero CAS ⁽¹⁾	Numero UE ⁽²⁾	Denominazione della sostanza prioritaria ⁽³⁾	Identificata come sostanza pericolosa prioritaria
(1)	15972-60-8	240-110-8	Alacloro	
(2)	120-12-7	204-371-1	Antracene	X
(3)	1912-24-9	217-617-8	Atrazina	
(4)	71-43-2	200-753-7	Benzene	
(5)	non applicabile	non applicabile	Difeniletere bromato ⁽⁴⁾	X ⁽⁵⁾
	32534-81-9	non applicabile	Pentabromodifeniletere (Congeneri 28, -47, -99, -100, -153 e -154)	
(6)	7440-43-9	231-152-8	Cadmio e composti	X
(7)	85535-84-8	287-476-5	Cloro alcani, C ₁₀₋₁₃ ⁽⁴⁾	X
(8)	470-90-6	207-432-0	Clorfenvinfos	
(9)	2921-88-2	220-864-4	Clorpirifos (Clorpirifos etile)	
(10)	107-06-2	203-458-1	1,2-dicloroetano	
(11)	75-09-2	200-838-9	Diclorometano	
(12)	117-81-7	204-211-0	Di(2-etilesil) ftalato (DEHP)	
(13)	330-54-1	206-354-4	Diuron	
(14)	115-29-7	204-079-4	Endosulfan	X
(15)	206-44-0	205-912-4	Fluorantene ⁽⁶⁾	
(16)	118-74-1	204-273-9	Esaclorobenzene	X
(17)	87-68-3	201-765-5	Esaclorobutadiene	X
(18)	608-73-1	210-158-9	Esaclorocicloesano	X
(19)	34123-59-6	251-835-4	Isoproturon	
(20)	7439-92-1	231-100-4	Piombo e composti	
(21)	7439-97-6	231-106-7	Mercurio e composti	X
(22)	91-20-3	202-049-5	Naftalene	
(23)	7440-02-0	231-111-14	Nichel e composti	
(24)	25154-52-3	246-672-0	Nonilfenolo	X
	104-40-5	203-199-4	(4-nonilfenolo)	X
(25)	1806-26-4	217-302-5	Ottilfenolo	
	140-66-9	non applicabile	(4-(1,1',3,3'-tetrametil-butil)fenolo)	
(26)	608-93-5	210-172-5	Pentaclorobenzene	X
(27)	87-86-5	231-152-8	Pentaclorofenolo	
(28)	non applicabile	non applicabile	Idrocarburi policiclici aromatici	X
	50-32-8	200-028-5	(Benzo(a)pirene)	X
	205-99-2	205-911-9	(Benzo(b)fluorantene)	X
	191-24-2	205-883-8	(Benzo(g,h,i)perilene)	X
	207-08-9	205-916-6	(Benzo(k)fluorantene)	X
	193-39-5	205-893-2	(Indeno(1,2,3-cd)pirene)	X
(29)	122-34-9	204-535-2	Simazina	

Numero	Numero CAS ⁽¹⁾	Numero UE ⁽²⁾	Denominazione della sostanza prioritaria ⁽³⁾	Identificata come sostanza pericolosa prioritaria
(30)	non applicabile	non applicabile	Tributilstagno (composti)	X
	36643-28-4	non applicabile	(Tributilstagno-catione)	X
(31)	12002-48-1	234-413-4	Triclorobenzeni	
(32)	67-66-3	200-663-8	Triclorometano (cloroformio)	
(33)	1582-09-8	216-428-8	Trifluralin	

(1) CAS: Chemical Abstracts Services.
(2) Numero UE: inventario europeo delle sostanze chimiche esistenti a carattere commerciale (Einecs) o lista europea delle sostanze chimiche notificate (Elincs).
(3) Nel caso di gruppi di sostanze, (tra parentesi e senza numero) sono indicate, a titolo di parametro indicativo, le singole sostanze tipiche rappresentative. Per questi gruppi di sostanze il parametro indicativo deve essere definito con il metodo analitico.
(4) Questi gruppi di sostanze in genere comprendono un numero consistente di singoli composti. Allo stato attuale non è possibile fornire parametri indicativi appropriati.
(5) Solo pentabromodifenil etere (numero CAS 32534-81-9).
(6) Il fluorantene è stato iscritto nell'elenco quale indicatore di altri idrocarburi policiclici aromatici più pericolosi.

Alla Direttiva 2000/60/CE fanno seguito una serie di direttive specifiche, descritte di seguito.

4.2.1.4. DIRETTIVA 2006/118/CE

La Direttiva 2006/118/CE si occupa della protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento.

La direttiva istituisce misure specifiche per prevenire e controllare l'inquinamento delle acque sotterranee, ai sensi dell'articolo 17, paragrafi 1 e 2, della direttiva 2000/60/CE. Queste misure comprendono in particolare:

- a) criteri per valutare il buono stato chimico delle acque sotterranee; e
- b) criteri per individuare e invertire le tendenze significative e durature all'aumento e per determinare i punti di partenza per le inversioni di tendenza.

Inoltre integra le disposizioni intese a prevenire o limitare le immissioni di inquinanti nelle acque sotterranee, già previste nella direttiva 2000/60/CE e mira a prevenire il deterioramento dello stato di tutti i corpi idrici sotterranei.

L'art. 3 riporta i criteri per valutare lo stato chimico delle acque sotterranee:

- a) le norme di qualità delle acque sotterranee di cui all'allegato I;
- b) i valori soglia che devono essere stabiliti dagli Stati membri secondo la procedura descritta nell'allegato II, parte A della Direttiva, per gli inquinanti, i gruppi di inquinanti e gli indicatori di inquinamento che, all'interno del territorio di uno Stato membro, sono stati individuati come fattori che contribuiscono alla caratterizzazione di corpi o gruppi di corpi idrici sotterranei come a rischio, tenuto conto almeno dell'elenco contenuto nell'allegato II, parte B.

L'art. 4 definisce la procedura di valutazione dello stato chimico delle acque sotterranee.

Un corpo o gruppo di corpi idrici sotterranei è considerato in buono stato chimico allorché:

- a) i risultati del controllo dimostrano che le condizioni stabilite nella tabella 2.3.2 dell'allegato V della direttiva 2000/60/CE sono rispettate; oppure che
- b) i valori per le norme di qualità delle acque sotterranee elencati nell'allegato I e i pertinenti valori soglia stabiliti in conformità dell'articolo 3 e dell'allegato II non sono superati in nessun punto di monitoraggio in tale corpo o gruppo di corpi idrici sotterranei; ovvero
- c) il valore per una norma di qualità delle acque sotterranee o il valore soglia è superato in uno o più punti di monitoraggio ma un'appropriata indagine svolta in conformità dell'allegato III conferma che:
 - sulla scorta della valutazione di cui all'allegato III, punto 3 non si ritiene che le concentrazioni di inquinanti che superano le norme di qualità delle acque sotterranee o i valori soglia rappresentino un rischio ambientale significativo, tenuto conto, se del caso, dell'entità del corpo idrico sotterraneo interessato;
 - le altre condizioni concernenti il buono stato chimico delle acque sotterranee figuranti nella tabella 2.3.2 dell'allegato V della direttiva 2000/60/CE sono soddisfatte in conformità dell'allegato III, punto 4, della presente direttiva;
 - per i corpi idrici sotterranei identificati in conformità all'articolo 7, paragrafo 1, della direttiva 2000/60/CE, i requisiti di cui all'articolo 7, paragrafo 3, di detta direttiva sono rispettati, in conformità dell'allegato III, punto 4, della presente direttiva;
 - la capacità del corpo idrico sotterraneo o di ogni singolo corpo del gruppo di corpi idrici sotterranei di sostenere gli usi umani non è stata danneggiata in maniera significativa dall'inquinamento.

L'Allegato I riporta le norme di qualità per le acque sotterranee:

NORME DI QUALITÀ PER LE ACQUE SOTTERRALEE

1. Ai fini della valutazione dello stato chimico delle acque sotterranee in conformità dell'articolo 4, le seguenti norme di qualità per le acque sotterranee sono le norme di qualità di cui alla tabella 2.3.2 dell'allegato V della direttiva 2000/60/CE e stabilite in conformità dell'articolo 17 di tale direttiva.

Inquinante	Norme di qualità
Nitrati	50 mg/l
Sostanze attive nei pesticidi, compresi i loro pertinenti metaboliti, prodotti di degradazione e di reazione. ⁽¹⁾	0,1 µg/l 0,5 µg/l (totale) ⁽²⁾

⁽¹⁾ Per pesticidi si intendono i prodotti fitosanitari e i biocidi, quali definiti all'articolo 2, rispettivamente della direttiva 91/414/CEE e della direttiva 98/8/CE.

⁽²⁾ «Totale» significa la somma di tutti i singoli pesticidi individuati e quantificati nella procedura di monitoraggio, compresi i corrispondenti metaboliti e i prodotti di degradazione e di reazione.

2. I risultati dell'applicazione delle norme di qualità per i pesticidi nel modo specificato ai fini della presente direttiva lasciano impregiudicati i risultati delle procedure di valutazione del rischio prescritte dalle direttive 91/414/CEE e 98/8/CE.

3. Quando per un determinato corpo idrico sotterraneo si considera che le norme di qualità in materia possano impedire il conseguimento degli obiettivi ambientali specificati all'articolo 4 della

direttiva 2000/60/CE per i corpi idrici superficiali connessi o provocare un deterioramento significativo della qualità ecologica o chimica di tali corpi o un danno significativo agli ecosistemi terrestri che dipendono direttamente dal corpo idrico sotterraneo, sono stabiliti valori soglia più severi conformemente all'articolo 3 e all'allegato II della presente direttiva. I programmi e le misure richiesti in relazione a tale valore soglia si applicano anche alle attività che rientrano nel campo d'applicazione della direttiva 91/676/CEE.

L'Allegato II, Parte B, riporta l'elenco minimo degli inquinanti e loro indicatori per i quali gli Stati Membri devono prendere in considerazione la fissazione di valori soglia.

1. sostanze o ioni o indicatori che possono essere presenti in natura e/o come risultato di attività umana

- Arsenico
- Cadmio
- Piombo
- Mercurio
- Ammonio
- Cloruro
- Solfato

2. sostanze artificiali di sintesi

- Tricloroetilene
- Tetracloroetilene

3. parametri indicatori di intrusioni saline o di altro tipo (1)

- Conduttività

L'Allegato III riporta

VALUTAZIONE DELLO STATO CHIMICO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

1. La procedura di valutazione intesa a determinare lo stato chimico di un corpo o gruppo di corpi idrici sotterranei è espletata per tutti i corpi o gruppi di corpi idrici sotterranei caratterizzati come a rischio e per ciascuno degli inquinanti che contribuiscono a tale caratterizzazione del corpo o del gruppo di corpi idrici sotterranei.

2. Nell'avviare le indagini di cui all'articolo 4, paragrafo 2, lettera c), gli Stati membri tengono conto dei seguenti elementi:

- a) le informazioni raccolte come parte della caratterizzazione da effettuare ai sensi dell'articolo 5 della direttiva 2000/60/CE e dei punti 2.1, 2.2 e 2.3 del suo allegato II;
- b) i risultati della rete di monitoraggio delle acque sotterranee ottenuti conformemente all'allegato V, punto 2.4 della direttiva 2000/60/CE e
- c) qualsiasi altra informazione pertinente, incluso un raffronto tra la concentrazione aritmetica media su base annua dei pertinenti inquinanti in un punto di monitoraggio e le norme di qualità delle acque sotterranee definite nell'allegato I e i valori soglia fissati dagli Stati membri in conformità dell'articolo 3 e dell'allegato II.

3. Ai fini delle indagini volte a stabilire se siano soddisfatte le condizioni concernenti il buono stato chimico delle acque sotterranee di cui all'articolo 4, paragrafo 2, lettera c), punti i) e iv) gli Stati membri, laddove pertinente e necessario e sulla scorta di adeguate aggregazioni dei risultati del monitoraggio, suffragate, se necessario, da stime di concentrazione basate su un modello concettuale del corpo o gruppo di corpi idrici sotterranei, valutano l'entità del corpo idrico sotterraneo avente, per un determinato inquinante, una concentrazione aritmetica media su base annua superiore ad una norma di qualità delle acque sotterranee o ad un valore soglia.

4. Ai fini delle indagini volte a stabilire se siano soddisfatte le condizioni concernenti il buono stato chimico delle acque sotterranee di cui all'articolo 4, paragrafo 2, lettera c), punti ii) e iii) gli Stati membri, laddove pertinente e necessario e sulla scorta di pertinenti risultati del monitoraggio e di un idoneo modello concettuale del corpo idrico sotterraneo, valutano:

- a) gli effetti dell'inquinamento nel corpo idrico sotterraneo;
- b) la quantità e le concentrazioni degli inquinanti che sono o che è probabile siano trasferiti dal corpo idrico sotterraneo alle acque superficiali connesse o agli ecosistemi terrestri che ne dipendono direttamente;
- c) l'impatto probabile delle quantità e concentrazioni degli inquinanti trasferiti alle acque superficiali connesse e agli ecosistemi terrestri che ne dipendono direttamente;
- d) l'entità delle eventuali intrusioni saline o di altro tipo nel corpo idrico sotterraneo, e
- e) il rischio che la presenza di inquinanti nel corpo idrico sotterraneo rappresenta per la qualità delle acque captate o che si intende captare dal corpo idrico sotterraneo per il consumo umano.

5. Gli Stati membri presentano su mappe, conformemente all'allegato V, punti 2.4.5 e 2.5 della direttiva 2000/60/CE, lo stato chimico di un corpo o gruppo di corpi idrici sotterranei. Essi indicano inoltre su tali mappe, laddove pertinente e fattibile, tutti i punti di monitoraggio in cui le norme di qualità e/o i valori soglia relativi alle acque sotterranee sono superati.

4.2.1.5. DIRETTIVA 2008/105/CE

La direttiva 2008/105/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2008 è relativa a "Standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive del Consiglio 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE e 86/280/CEE, nonché modifica della direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio".

L'Allegato I della Direttiva riporta gli standard di qualità ambientale per le sostanze prioritarie e per alcuni altri inquinanti.

ALLEGATO I

STANDARD DI QUALITÀ AMBIENTALE PER LE SOSTANZE PRIORITARIE E PER ALCUNI ALTRI INQUINANTI

PARTE A: STANDARD DI QUALITÀ AMBIENTALE (SQA)

AA: media annua

CMA: concentrazione massima ammissibile

Unità di misura: [µg/l]

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
N.	Denominazione della sostanza	Numero CAS ⁽¹⁾	SQA-AA ⁽²⁾ Acque superficiali interne ⁽³⁾	SQA-AA ⁽²⁾ Altre acque di superficie	SQA-CMA ⁽⁴⁾ Acque superficiali interne ⁽⁵⁾	SQA-CMA ⁽⁴⁾ Altre acque di superficie
(1)	Alacloro	15972-60-8	0,3	0,3	0,7	0,7
(2)	Antracene	120-12-7	0,1	0,1	0,4	0,4
(3)	Atrazina	1912-24-9	0,6	0,6	2,0	2,0
(4)	Benzene	71-43-2	10	8	50	50
(5)	Difenilietere bromato ⁽⁶⁾	32534-81-9	0,0005	0,0002	non applicabile	non applicabile
(6)	Cadmio e composti (in funzione delle classi di durezza dell'acqua) ⁽⁶⁾	7440-43-9	≤ 0,08 (classe 1) 0,08 (classe 2) 0,09 (classe 3) 0,15 (classe 4) 0,25 (classe 5)	0,2	≤ 0,45 (classe 1) 0,45 (classe 2) 0,6 (classe 3) 0,9 (classe 4) 1,5 (classe 5)	≤ 0,45 (classe 1) 0,45 (classe 2) 0,6 (classe 3) 0,9 (classe 4) 1,5 (classe 5)
(6 bis)	Tetracloruro di carbonio ⁽⁷⁾	56-23-5	12	12	non applicabile	non applicabile
(7)	Cloro alcani, C10-13	85535-84-8	0,4	0,4	1,4	1,4
(8)	Clorfenvinfos	470-90-6	0,1	0,1	0,3	0,3
(9)	Clorpirifos (Clorpirifos etile)	2921-88-2	0,03	0,03	0,1	0,1
(9 bis)	Antiparassitari del ciclodiene: Aldrin ⁽⁷⁾ Dieldrin ⁽⁷⁾ Endrin ⁽⁷⁾ Isodrin ⁽⁷⁾	309-00-2 60-57-1 72-20-8 465-73-6	Σ = 0,01	Σ = 0,005	non applicabile	non applicabile
(9 ter)	DDT totale ⁽⁷⁾ ⁽⁸⁾	non applicabile	0,025	0,025	non applicabile	non applicabile
	p,p'-DDT ⁽⁷⁾	50-29-3	0,01	0,01	non applicabile	non applicabile
(10)	1,2-Dicloroetano	107-06-2	10	10	non applicabile	non applicabile
(11)	Diclorometano	75-09-2	20	20	non applicabile	non applicabile
(12)	Di(2-etilesil) ftalato (DEHP)	117-81-7	1,3	1,3	non applicabile	non applicabile
(13)	Diuron	330-54-1	0,2	0,2	1,8	1,8
(14)	Endosulfan	115-29-7	0,005	0,0005	0,01	0,004
(15)	Fluorantene	206-44-0	0,1	0,1	1	1
(16)	Esaclorobenzene	118-74-1	0,01 ⁽⁹⁾	0,01 ⁽⁹⁾	0,05	0,05
(17)	Esaclorobutadiene	87-68-3	0,1 ⁽⁹⁾	0,1 ⁽⁹⁾	0,6	0,6
(18)	Esaclorocicloesano	608-73-1	0,02	0,002	0,04	0,02

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
N.	Denominazione della sostanza	Numero CAS (1)	SQA-AA (2) Acque superficiali interne (3)	SQA-AA (2) Altre acque di superficie	SQA-CMA (4) Acque superficiali interne (3)	SQA-CMA (4) Altre acque di superficie
(19)	Isoproturon	34123-59-6	0,3	0,3	1,0	1,0
(20)	Piombo e composti	7439-92-1	7,2	7,2	non applicabile	non applicabile
(21)	Mercurio e composti	7439-97-6	0,05 (9)	0,05 (9)	0,07	0,07
(22)	Naftalene	91-20-3	2,4	1,2	non applicabile	non applicabile
(23)	Nichel e composti	7440-02-0	20	20	non applicabile	non applicabile
(24)	Nonilfenolo (4-Nonilfenolo)	104-40-5	0,3	0,3	2,0	2,0
(25)	Ottilfenolo (1,1,3,3-tetrametil-4-butilfenolo)	140-66-9	0,1	0,01	non applicabile	non applicabile
(26)	Pentaclorobenzene	608-93-5	0,007	0,0007	non applicabile	non applicabile
(27)	Pentaclorofenolo	87-86-5	0,4	0,4	1	1
(28)	Idrocarburi policiclici aromatici (IPA) (10)	non applicabile	non applicabile	non applicabile	non applicabile	non applicabile
	Benzo(a)pirene	50-32-8	Σ = 0,03	Σ = 0,03	non applicabile	non applicabile
	Benzo(b)fluorantene	205-99-2				
	Benzo(k)fluorantene	207-08-9	Σ = 0,002	Σ = 0,002	non applicabile	non applicabile
	Benzo(g,h,i)perilene	191-24-2				
	Indeno(1,2,3-cd)pirene	193-39-5				
(29)	Simazina	122-34-9	1	1	4	4
(29 bis)	Tetracloroetilene (7)	127-18-4	10	10	non applicabile	non applicabile
(29 ter)	Tricloroetilene (7)	79-01-6	10	10	non applicabile	non applicabile
(30)	Tributilstagno (composti) (Tributilstagno catione)	36643-28-4	0,0002	0,0002	0,0015	0,0015
(31)	Triclorobenzeni	12002-48-1	0,4	0,4	non applicabile	non applicabile
(32)	Triclorometano	67-66-3	2,5	2,5	non applicabile	non applicabile
(33)	Trifluralin	1582-09-8	0,03	0,03	non applicabile	non applicabile

(1) CAS: Chemical Abstracts Service.

(2) Questo parametro rappresenta lo SQA espresso come valore medio annuo (AA-SQA). Se non altrimenti specificato, si applica alla concentrazione totale di tutti gli isomeri.

(3) Per acque superficiali interne si intendono i fiumi, i laghi e i corpi idrici artificiali o fortemente modificati.

(4) Questo parametro rappresenta lo standard di qualità ambientale espresso come concentrazione massima ammissibile (CMA-SQA). Quando compare la dicitura «non applicabile» riferita agli CMA-SQA, si ritiene che i valori AA-SQA tutelino dai picchi di inquinamento di breve termine, in scarichi continui, perché sono sensibilmente inferiori ai valori derivati in base alla tossicità acuta.

(5) Per il gruppo di sostanze prioritarie «difenileteri bromati» (voce n. 5) elencate nella decisione n. 2455/2001/CE, viene fissato un SQA solo per i congeneri numeri 28, 47, 99, 100, 153 e 154.

(6) Per il cadmio e composti (voce n. 6) i valori degli SQA variano in funzione della durezza dell'acqua classificata secondo le seguenti cinque categorie: classe 1: < 40 mg CaCO₃/l, classe 2: da 40 a < 50 mg CaCO₃/l, classe 3: da 50 a < 100 mg CaCO₃/l, classe 4: da 100 a < 200 mg CaCO₃/l e classe 5: ≥ 200 mg CaCO₃/l.

(7) Questa sostanza non è prioritaria ma è uno degli altri inquinanti i cui SQA sono identici a quelli fissati nella normativa applicata prima del 13 gennaio 2009.

(8) Il DDT totale comprende la somma degli isomeri 1,1,1-tridoro-2,2 bis(p-clorofenil)etano (numero CAS 50-29-3; numero UE 200-024-3), 1,1,1-tricloro-2(o-clorofenil)-2-(p-clorofenil)etano (numero CAS 789-02-6; numero UE 212-332-5), 1,1-dicloro-2,2 bis(p-clorofenil)etilene (numero CAS 72-55-9; numero UE 200-784-6) e 1,1-dicloro-2,2 bis(p-clorofenil)etano (numero CAS 72-54-8; numero UE 200-783-0).

(9) Se non applicano SQA per il biota, gli Stati membri introdurranno SQA più rigorosi per le acque al fine di ottenere lo stesso livello di protezione rispetto agli SQA per il biota di cui all'articolo 3, paragrafo 2, della presente direttiva. Essi notificano alla Commissione e agli altri Stati membri, tramite il comitato di cui all'articolo 21 della direttiva 2000/60/CE la motivazione e la base del ricorso a tale approccio, gli SQA alternativi per le acque fissati, inclusi i dati e la metodologia utilizzata per ottenere gli SQA alternativi, nonché le categorie di acque superficiali a cui si applicheranno.

(10) Per il gruppo di sostanze prioritarie «idrocarburi policiclici aromatici» (IPA) (voce n. 28) è applicabile ogni singolo SQA, devono cioè essere rispettati lo SQA per il benzo(a)pirene, lo SQA relativo alla somma di benzo(b)fluorantene e benzo(k)fluorantene e lo SQA relativo alla somma di benzo(g,h,i)perilene e indeno(1,2,3-cd)pirene.

PARTE B: APPLICAZIONE DEGLI SQA DI CUI ALLA PARTE A

1. Colonne 4 e 5 della tabella: per ciascun corpo idrico superficiale, applicare gli SQA-AA significa che, per ciascun punto di monitoraggio rappresentativo all'interno del corpo idrico, la media aritmetica delle concentrazioni rilevate in diversi periodi dell'anno non supera lo standard prescritto.

Il calcolo della media aritmetica, il metodo analitico utilizzato e, quando non sia disponibile alcun metodo analitico appropriato che rispetti i criteri minimi di efficienza, la metodologia per applicare

un SQA devono essere conformi alle misure di esecuzione che adottano specifiche tecniche per il controllo chimico e la qualità dei risultati delle analisi conformemente alla direttiva 2000/60/CE.

2. Colonne 6 e 7 della tabella: per ciascun corpo idrico superficiale, applicare gli CMA-SQA significa che la concentrazione rilevata in ciascun punto rappresentativo di monitoraggio all' interno del corpo idrico non supera lo standard prescritto.

Tuttavia, conformemente alla sezione 1.3.4 dell'allegato V della direttiva 2000/60/CE gli Stati membri possono instaurare metodi statistici quali il calcolo del percentile per garantire il grado di attendibilità e di precisione per determinare la conformità al relativo CMA-SQA. In tal caso, detti metodi statistici sono conformi alle modalità stabilite secondo la procedura di regolamentazione di cui all'articolo 9, paragrafo 2, della presente direttiva.

3. Gli SQA definiti nel presente allegato sono espressi sotto forma di concentrazioni totali nell'intero campione d'acqua; fanno eccezione il cadmio, il piombo, il mercurio e il nichel (di seguito «metalli»). Per i metalli lo SQA si riferisce alla concentrazione disciolta, cioè alla fase disciolta di un campione di acqua ottenuto per filtrazione con un filtro da 0,45 µm o altro pretrattamento equivalente.

Quando valutano i risultati del monitoraggio rispetto agli SQA, gli Stati membri possono tener conto di questi fattori:

- a) le concentrazioni di fondo naturali dei metalli e composti se impediscono la conformità al valore fissato per lo SQA, e
- b) la durezza, il pH o altri parametri di qualità dell'acqua che incidono sulla biodisponibilità dei metalli.

La Direttiva aggiorna l'elenco delle sostanze prioritarie in materia di acque della Direttiva 2000/60 (riportato precedentemente, aggiornato alla versione 2008/105).

4.2.1.6. DIRETTIVA 2009/90/CE

La direttiva 2009/90/CE della commissione del 31 luglio 2009 stabilisce, conformemente alla direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, specifiche tecniche per l'analisi chimica e il monitoraggio dello stato delle acque.

La Direttiva ha come scopo garantire la qualità e la comparabilità dei risultati analitici ottenuti dai laboratori incaricati dalle autorità nazionali competenti di effettuare il monitoraggio chimico delle acque, come previsto dall'articolo 8 della direttiva 2000/60/CE.

A tal fine la Direttiva stabilisce che gli Stati membri debbano garantire che tutti i metodi di analisi, compresi i metodi di laboratorio, sul campo e on line, utilizzati ai fini dei programmi di monitoraggio chimico, siano convalidati e documentati ai sensi della norma EN ISO/IEC -17025 o di altre norme equivalenti internazionalmente accettate.

L'art. 4 stabilisce che i criteri minimi di efficienza per i metodi di analisi siano basati su un'incertezza di misura pari o inferiore al 50 % ($k = 2$) stimata al livello degli standard di qualità ambientale pertinenti e su un limite di quantificazione pari o inferiore al 30 % rispetto agli standard di qualità ambientale pertinenti.

4.2.2. NORMATIVA NAZIONALE

A livello nazionale, il monitoraggio ambientale è stato introdotto come elemento costituente della progettazione di opere pubbliche e/o sottoposte alla procedura di valutazione di impatto ambientale.

I testi legislativi di riferimento sono quindi:

- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 – Norme in materia ambientale;
- Decreto Legislativo 12 aprile 2006, n. 163 - Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE

4.2.2.1. D.LGS. 152 DEL 3 APRILE 2006 – NORME IN MATERIA AMBIENTALE

Il Decreto legislativo 3 aprile 2006, n° 152, chiamato anche Codice dell' Ambiente, è il principale riferimento legislativo in materia di valutazione di impatto ambientale, difesa del suolo e tutela delle acque, gestione dei rifiuti, riduzione dell'inquinamento atmosferico e risarcimento dei danni ambientali.

Il decreto è stato in seguito modificato ed integrato da:

- D.Lgs. n. 4 del 16 gennaio 2008 “Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale”
- D.Lgs. n. 128 del 29 giugno 2010 “Modifiche ed integrazioni al decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale, a norma dell'articolo 12 della legge 18 giugno 2009, n. 69.”

Il decreto si distingue in:

- Parte prima: Disposizioni comuni e principi generali
- Parte seconda: Procedure per la valutazione ambientale strategica (VAS), per la valutazione d'impatto ambientale (VIA) e per l'autorizzazione ambientale integrata (IPPC)
- Parte terza: Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche
- Parte quarta: Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati
- Parte quinta: Norme in materia di tutela dell'aria e di riduzione delle emissioni in atmosfera
- Parte sesta: Norme in materia di tutela risarcitoria contro i danni all'ambiente.

Il monitoraggio ambientale entra a far parte del procedimento di Valutazione di impatto ambientale, normato dalla Parte seconda, il cui svolgimento è illustrato all'art. 19:

Art. 19. Modalità di svolgimento

1. La valutazione d'impatto ambientale comprende, secondo le disposizioni di cui agli articoli da 20 a 28:

a) lo svolgimento di una verifica di assoggettabilità limitatamente alle ipotesi di cui all'articolo 6, comma 7;

- b) la definizione dei contenuti dello studio di impatto ambientale;*
 - c) la presentazione e la pubblicazione del progetto;*
 - d) lo svolgimento di consultazioni;*
 - f) la valutazione dello studio ambientale e degli esiti delle consultazioni;*
 - g) la decisione;*
 - h) l'informazione sulla decisione;*
 - i) il monitoraggio.*
- 2. Per i progetti inseriti in piani o programmi per i quali si è conclusa positivamente la procedura di VAS, il giudizio di VIA negativo ovvero il contrasto di valutazione su elementi già oggetto della VAS è adeguatamente motivato.*

Il monitoraggio ambientale è introdotto all'interno dello Studio di Impatto Ambientale, così come previsto dall'art. 22:

Art. 22. Studio di impatto ambientale

- 1. La redazione dello studio di impatto ambientale, insieme a tutti gli altri documenti elaborati nelle varie fasi del procedimento, ed i costi associati sono a carico del proponente il progetto.*
- 2. Lo studio di impatto ambientale, e predisposto, secondo le indicazioni di cui all'allegato VII del presente decreto e nel rispetto degli esiti della fase di consultazione definizione dei contenuti di cui all'articolo 21, qualora attivata.*
- 3. Lo studio di impatto ambientale contiene almeno le seguenti informazioni:*
 - a) una descrizione del progetto con informazioni relative alle sue caratteristiche, alla sua localizzazione ed alle sue dimensioni;*
 - b) una descrizione delle misure previste per evitare, ridurre e possibilmente compensare gli impatti negativi rilevanti;*
 - c) i dati necessari per individuare e valutare i principali impatti sull'ambiente e sul patrimonio culturale che il progetto può produrre, sia in fase di realizzazione che in fase di esercizio;*
 - d) una descrizione sommaria delle principali alternative prese in esame dal proponente, ivi compresa l'acossiddetta opzione zero, con indicazione delle principali ragioni della scelta, sotto il profilo dell'impatto ambientale;*

e) una descrizione delle misure previste per il monitoraggio.

[...]

L'art. 28 è dedicato al monitoraggio nella Valutazione di impatto ambientale:

Art. 28. Monitoraggio

1. Il provvedimento di valutazione dell'impatto ambientale contiene ogni opportuna indicazione per la progettazione e lo svolgimento delle attività di controllo e monitoraggio degli impatti. Il monitoraggio assicura, anche avvalendosi dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale e del sistema delle Agenzie ambientali, il controllo sugli impatti ambientali significativi sull'ambiente provocati dalle opere approvate, nonché la corrispondenza alle prescrizioni espresse sulla compatibilità ambientale dell'opera, anche, al fine di individuare tempestivamente gli impatti negativi imprevisti e di consentire all'autorità competente di essere in grado di adottare le opportune misure correttive.

(comma così modificato dall'articolo 2, comma 23, d.lgs. n. 128 del 2010)

1-bis. In particolare, qualora dalle attività di cui al comma 1 risultino impatti negativi ulteriori e diversi, ovvero di entità significativamente superiore, rispetto a quelli previsti e valutati nel provvedimento di valutazione dell'impatto ambientale, l'autorità competente, acquisite informazioni e valutati i pareri resi può modificare il provvedimento ed apporvi condizioni ulteriori rispetto a quelle di cui al comma 5 dell'articolo 26.

Qualora dall'esecuzione dei lavori ovvero dall'esercizio dell'attività possano derivare gravi ripercussioni negative, non preventivamente valutate, sulla salute pubblica e sull'ambiente, l'autorità competente può ordinare la sospensione dei lavori o delle attività autorizzate, nelle more delle determinazioni correttive da adottare.

(comma così introdotto dall'articolo 2, comma 23, d.lgs. n. 128 del 2010)

2. Delle modalità di svolgimento del monitoraggio, dei risultati e delle eventuali misure correttive adottate ai sensi del comma 1 e data adeguata informazione attraverso i siti web dell'autorità competente e dell'autorità procedente e delle Agenzie interessate.

Il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 27 dicembre 1988 "Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale e la formulazione del giudizio di compatibilità di cui all'art. 6, l. 8 luglio 1986, n. 349, adottate ai sensi dell'art. 3 del d.P.C.M. 10 agosto 1988, n. 377" citato nel Codice dell'Ambiente all'art. 34 relativo alle norme tecniche, organizzative e integrative,

riporta, all'art 5, comma 3 i contenuti del quadro di riferimento ambientale in uno studio di impatto ambientale, nel quale sono previste reti di monitoraggio ambientale:

Art. 5 - Quadro di riferimento ambientale

[...]

3. In relazione alle peculiarità dell'ambiente interessato così come definite a seguito delle analisi di cui ai

precedenti commi, nonché ai livelli di approfondimento necessari per la tipologia di intervento proposto come precisato nell'allegato III, il quadro di riferimento ambientale:

a) stima qualitativamente e quantitativamente gli impatti indotti dall'opera sul sistema ambientale, nonché le interazioni degli impatti con le diverse componenti ed i fattori ambientali, anche in relazione ai rapportiesistenti tra essi;

b) descrive le modificazioni delle condizioni d'uso e della fruizione potenziale del territorio, in rapporto allasituazione preesistente;

c) descrive la prevedibile evoluzione, a seguito dell'intervento, delle componenti e dei fattori ambientali, delle relative interazioni e del sistema ambientale complessivo;

d) descrive e stima la modifica, sia nel breve che nel lungo periodo, dei livelli di qualità preesistenti, inrelazione agli approfondimenti di cui al presente articolo;

e) definisce gli strumenti di gestione e di controllo e, ove necessario, le reti di monitoraggio ambientale, documentando la localizzazione dei punti di misura e i parametri ritenuti opportuni;

f) illustra i sistemi di intervento nell'ipotesi di manifestarsi di emergenze particolari.

[...]

4.2.2.2. D.LGS. 163 DEL 12 APRILE 2006 - CODICE APPALTI

L'art. 164, della Sezione I - Infrastrutture ed insediamenti produttivi, del decreto legislativo 12 aprile 2006 n° 163 "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE" definisce le norme da applicare alla progettazione, rimandando all'Allegato tecnico XXI.

L'art. 10, comma 3 dell'All. XXI introduce per la prima volta il concetto di "Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA)" nell'elenco degli elaborati a corredo dei progetti:

Articolo 10. Relazioni tecniche e relazioni specialistiche del progetto definitivo - progetto di monitoraggio ambientale (PMA).

[...]

3. Per le opere soggette a valutazione ambientale nazionale e comunque ove richiesto, dovrà inoltre essere

redatto, il progetto di monitoraggio ambientale (PMA), che dovrà attenersi ai criteri seguenti:

a) il progetto di monitoraggio ambientale (PMA) deve illustrare i contenuti, i criteri, le metodologie, l'organizzazione e le risorse che saranno impiegate successivamente per attuare il piano di monitoraggio ambientale (PMA), definito come l'insieme dei controlli da effettuare attraverso la rilevazione e misurazione nel tempo di determinati parametri biologici, chimici e fisici che caratterizzano le componenti ambientali impattate dalla realizzazione e/o esercizio delle opere;

b) il progetto di monitoraggio ambientale dovrà uniformarsi ai disposti del citato D.M. 1° aprile 2004 del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio; in particolare dovranno essere adottati le tecnologie ed i sistemi innovativi ivi previsti. Secondo quanto stabilito dalle linee guida nella redazione del PMA si devono seguire le seguenti fasi progettuali:

analisi del documento di riferimento e pianificazione delle attività di progettazione

definizione del quadro informativo esistente

identificazione ed aggiornamento dei riferimenti normativi e bibliografici

scelta delle componenti ambientali

scelta delle aree da monitorare

strutturazione delle informazioni

programmazione delle attività

4.2.2.3. ALTRI RIFERIMENTI NORMATIVI

Di seguito si riportano i riferimenti a decreti e norme inerenti il monitoraggio e la caratterizzazione dei corpi idrici superficiali e sotterranei.

- *Decreto 16 giugno 2008, n. 131. Regolamento recante i criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici (tipizzazione, individuazione dei corpi idrici, analisi delle pressioni) per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante: «Norme in materia ambientale», predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 4, dello stesso decreto.*

Il decreto aggiorna e modifica il D.Lgs. 152/2006 in merito ai criteri di caratterizzazione dei corpi idrici.

- *D.Lgs. 16 marzo 2009, n. 30. Attuazione della direttiva 2006/118/CE, relativa alla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento.*

Il decreto costituisce attuazione della Direttiva Direttiva 2006/118/CE, illustrata nel precedente paragrafo, in merito alla caratterizzazione e alla classificazione dei corpi idrici sotterranei.

- *Decreto 17 luglio 2009. Individuazione delle informazioni territoriali e modalità per la raccolta, lo scambio e l'utilizzazione dei dati necessari alla predisposizione dei rapporti conoscitivi sullo stato di attuazione degli obblighi comunitari e nazionali in materia di acque.*

Il decreto è stato emanato in recepimento della Direttiva 2000/60/CE e le successive Direttive ad essa connesse, in materia di trasmissione dei dati inerenti le acque.

- *Decreto 8 novembre 2010, n. 260. Regolamento recante i criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali, per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 3, del medesimo decreto legislativo.*

Il decreto aggiorna il D.Lgs. 152/2006 e stabilisce i criteri per il monitoraggio e la caratterizzazione dei corpi idrici superficiali e sotterranei dal punto di vista chimico, fisico e biologico.

- *D.Lgs 10 dicembre 2010, n. 219. Attuazione della direttiva 2008/105/CE relativa a standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/280/CEE, nonché modifica della direttiva 2000/60/CE e recepimento della direttiva 2009/90/CE che stabilisce, conformemente alla direttiva 2000/60/CE, specifiche tecniche per l'analisi chimica e il monitoraggio dello stato delle acque.*

Il decreto recepisce la Direttiva 2008/105/CE, modificando il D.Lgs. 152/2006.

4.2.3. LINEE GUIDA

La normativa, sia a livello comunitario che nazionale, come visto, stabilisce la necessità della redazione di un Progetto di monitoraggio ambientale, da attuare e realizzare contestualmente al progetto.

La Commissione speciale di valutazione di impatto ambientale ha redatto un documento dal titolo *“Linee Guida per la predisposizione da parte del Proponente del Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA)”* che ha lo scopo di delineare delle linee guida comuni ed univoche per la redazione di *“un sistema di monitoraggio ambientale, opportunamente esteso a tutte le componenti di interesse, che, attraverso la restituzione di dati continuamente aggiornati, fornisca indicazioni sui trend evolutivi e consenta la misura dello stato complessivo dell’ambiente e del verificarsi di eventuali impatti non previsti nella fase progettuale e di SIA”*.

Tali Linee guida definiscono innanzitutto i seguenti aspetti generali di un Piano di Monitoraggio ambientale:

- gli obiettivi del Monitoraggio Ambientale;
- i requisiti del Progetto di Monitoraggio Ambientale;
- l’articolazione temporale;
- i criteri metodologici di redazione del PMA;
- le modalità di attuazione del monitoraggio ambientale;
- le modalità di gestione e rappresentazione dei risultati;
- le modalità di gestione delle variazioni;
- la struttura organizzativa preposta all’effettuazione del monitoraggio ambientale.

Il documento individua le componenti ambientali che dovrebbero essere oggetto del Monitoraggio Ambientale, di seguito sintetizzate:

- atmosfera
- ambiente idrico
- suolo e sottosuolo
- vegetazione, flora, fauna ed ecosistemi
- rumore
- vibrazioni
- campi elettromagnetici
- paesaggio
- rifiuti e terre e rocce da scavo
- stato fisico dei luoghi, aree di cantiere e viabilità
- ambiente sociale

Per ciascuna componente e/o fattore ambientale il documento riporta, in appendice, i criteri specifici per il PMA.

L’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) ha pubblicato a dicembre 2013 le *“Linee Guida per la predisposizione del Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA) delle opere soggette a Valutazione di Impatto Ambientale, ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. e del D.Lgs. 163/2006 e s.m.i.”*.

Il documento è dedicato alle opere sottoposte a Valutazione di impatto ambientale ai sensi della Parte Seconda del D.Lgs.152/2006 e s.m.i. ed è finalizzato a:

- fornire al Proponente indicazioni metodologiche ed operative per la predisposizione del Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA),
- stabilire criteri e metodologie omogenei per la predisposizione dei PMA affinché, nel rispetto delle specificità dei contesti progettuali ed ambientali, sia possibile il confronto dei dati, anche ai fini del riutilizzo.

Il documento individua il *follow-up* che comprende le attività riconducibili sostanzialmente alle seguenti quattro principali fasi:

1. **Monitoraggio** – l'insieme di attività e di dati ambientali antecedenti e successivi all'attuazione del progetto (in corso d'opera e in esercizio);
2. **Valutazione** – la valutazione della conformità con le norme, le previsioni o aspettative delle prestazioni ambientali del progetto;
3. **Gestione** – la definizione delle azioni appropriate da intraprendere in risposta ai problemi derivanti dalle attività di monitoraggio e di valutazione;
4. **Comunicazione** – l'informazione ai diversi soggetti coinvolti sui risultati delle attività di monitoraggio, valutazione e gestione.

Il documento, sulle orme delle linee guida del 2007, delle quali costituisce un aggiornamento, oltre ai requisiti e criteri generale del monitoraggio ambientale, definisce le caratteristiche delle aree di indagine, delle stazioni e dei punti di monitoraggio, dei parametri analitici, dell'articolazione temporale delle attività e della restituzione dei dati.

4.3. **NORMATIVA SULLA QUALITÀ DELLE ACQUE**

Il Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n. 152 “Norme in materia ambientale” (cosiddetto Testo Unico Ambientale), nella parte IV –Titolo V - definisce i criteri tecnici per la valutazione dello stato di inquinamento del suolo, sottosuolo ed acque sotterranee.

In particolare, tale Decreto stabilisce le c.d. “concentrazioni soglia di contaminazione” nel suolo e nel sottosuolo (CSC), per le quali nella tabella 1 dell’allegato 5 alla parte IV, titolo V del D.Lgs 152/2006, vengono individuati limiti differenti a seconda che il sito sia ad uso verde pubblico, privato e residenziale (colonna A) ovvero ad uso commerciale ed industriale (colonna B); nello stesso decreto vengono inoltre individuate le “concentrazioni soglia di rischio” (CSR), definite dall’art.240, lett. c) del T.U. ambientale come i livelli di contaminazione delle matrici ambientali da determinare caso per caso con l’applicazione della procedura di analisi di rischio sito specifica e sulla base delle risultanze del piano di caratterizzazione.

I CSC esprimono un valore soglia, superato il quale occorre procedere alla caratterizzazione del sito e – sulla base di essa – all’analisi di rischio sito specifica (art.240 lett. b e art.242). In base alle risultanze dell’analisi di rischio si possono profilare due diverse situazioni:

- se l’analisi di rischio evidenzia che non sono stati superati i livelli di concentrazione soglia di rischio (CSR) significa che il sito non è contaminato ed il procedimento si conclude;
- se al contrario – in base all’analisi di rischio – si accerta il superamento dei livelli di concentrazione soglia di rischio (CSR) occorre procedere con le operazioni di messa in sicurezza e bonifica, trattandosi di sito contaminato.

Nella fattispecie, attesa la destinazione finale dell’area oggetto dell’indagine (sito ad uso residenziale), le CSC di riferimento per il monitoraggio sono quelle riportate nella colonna A della tab.1 dell’allegato 5 alla parte IV, titolo V del D.Lgs.152/2006.

	A uso Verde pubblico, privato e residenziale (mg/kg espressi come ss)
Composti inorganici	
Antimonio	10
Arsenico	20
Berillio	2
Cadmio	2
Cobalto	20
Cromo totale	150
Cromo VI	2
Mercurio	1
Nichel	120
Piombo	100
Rame	120
Selenio	3

	A uso Verde pubblico, privato e residenziale (mg/kg espressi come ss)
Stagno	1
Tallio	1
Vanadio	90
Zinco	150
Composti organici aromatici	
Benzene	0.1
Etilbenzene	0.5
Stirene	0.5
Toluene	0.5
Xilene	0.5
Sommatoria organici aromatici (da 20 a 23)	1
Idrocarburi policiclici aromatici	
Benzo(a)antracene	0.5
Benzo(a)pirene	0.1
Benzo(b)fluorantene	0.5
Benzo(k,)fluorantene	0.5
Benzo(g, h, i)perilene	0.1
Crisene	5
Dibenzo(a,e)pirene	0.1
Dibenzo(a,1)pirene	0.1
Dibenzo(a,i)pirene	0.1
Dibenzo(a,h)pirene	0.1
Dibenzo(a, h)antracene	0.1
Indenopirene	0.1
Pirene	5
Sommatoria policiclici aromatici (da 25 a 34) ²	10
Alifatici clorurati cancerogeni	
Clorometano	0.1
Diclorometano	0.1
Triclorometano	0.1
Cloruro di Vinile	0.01
1,2-Dicloroetano	0.2
1,1 Dicloroetilene	0.1
Tricloroetilene	1
Tetracloroetilene (PCE)	0.5
Alifatici clorurati non cancerogeni	

² La sommatoria dovrebbe essere da 25 a 37 (fonte APAT – Dipartimento Difesa del suolo / Servizio Geologico d'Italia. "Confronto fra le concentrazioni limite accettabili ex DM 471/99 e concentrazioni soglia di contaminazione ex D.LGs.152/06"

	A uso Verde pubblico, privato e residenziale (mg/kg espressi come ss)
1,1-Dicloroetano	0.5
1,2-Dicloroetilene	0.3
1,1,1-Tricloroetano	0.5
1,2-Dicloropropano	0.3
1,1,2-Tricloroetano	0.5
1,2,3-Tricloropropano	0.1
1,1,2,2-Tetracloroetano	0.5
Alifatici alogenati Cancerogeni	
Tribromometano (bromoformio)	0.5
1,2-Dibromoetano	0.01
Dibromoclorometano	0.5
Bromodiclorometano	0.5
Diossine e furani	
PCB	0.06
Idrocarburi	
Idrocarburi Leggeri C<12	10
Idrocarburi pesanti C>12	50

Tutte le attività strumentali di rilevamento dei dati in campo ed analitiche di laboratorio saranno effettuate secondo la pertinente normativa nazionale, elencata nel seguito, ed in accordo con le pertinenti norme tecniche nazionali ed internazionali (UNI, CNR, ISO, ASTM, EPA, ecc).

- *D.Lgs. n. 152 del 03/04/2006 "Norme in materia ambientale";*
- *CNR – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque: "Metodi Analitici per le Acque", 1979 e successive modificazioni ed integrazioni;*
- *D.Lgs. n. 130 del 25/01/1992: "Attuazione della direttiva CEE n. 78/659 sulla qualità delle acque dolci che richiedono protezione o miglioramento per essere idonee alla vita dei pesci";*
- *Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 4 marzo 1996. Disposizioni in materia di risorse idriche;*
- *D.Lgs. n. 152 del 11/05/1999 "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676 CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole";*
- *D.Lgs. n. 258 del 18/08/00 - Disposizioni correttive e integrative del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, a norma dell'articolo 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n. 128;*
- *D.Lgs. n. 31 del 02/02/01 - Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano;*

- *D.Lgs. n. 27 del 02/02/02 - Modifiche ed integrazioni al decreto legislativo 2 febbraio 2001, n. 31, recante attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano.*

4.4. ORGANIZZAZIONE E PRINCIPI DI UN PMA

Il Monitoraggio ambientale è uno strumento di fondamentale importanza nell'ambito della valutazione degli impatti ambientali di un'opera e in quanto tale persegue i seguenti obiettivi:

- Verificare la conformità alle previsioni di impatto individuate nel SIA per quanto attiene le fasi di costruzione e di esercizio dell'Opera.
- Correlare gli stati ante-operam, in corso d'opera e post-operam, al fine di valutare l'evolversi della situazione ambientale.
- Garantire, durante la costruzione, il pieno controllo della situazione ambientale, al fine di rilevare prontamente eventuali situazioni non previste e/o criticità ambientali e di predisporre ed attuare tempestivamente le necessarie azioni correttive.
- Verificare l'efficacia delle misure di mitigazione.
- Fornire alla Commissione Speciale VIA gli elementi di verifica necessari per la corretta esecuzione delle procedure di monitoraggio.
- Effettuare, nelle fasi di costruzione e di esercizio, gli opportuni controlli sull'esatto adempimento dei contenuti, e delle eventuali prescrizioni e raccomandazioni formulate nel provvedimento di compatibilità ambientale.

Il monitoraggio ambientale deve inoltre soddisfare i seguenti requisiti:

- Prevedere il coordinamento delle attività di monitoraggio previste "ad hoc" con quelle degli Enti territoriali ed ambientali che operano nell'ambito della tutela e dell'uso delle risorse ambientali;
- Essere coerente con il SIA relativo all'opera interessata dal MA. Eventuali modifiche e la non considerazione di alcune componenti devono essere evidenziate e sinteticamente motivate.
- Contenere la programmazione dettagliata spazio-temporale delle attività di monitoraggio e definizione degli strumenti.
- Indicare le modalità di rilevamento e uso della strumentazione coerenti con la normativa vigente.
- Prevedere meccanismi di segnalazione tempestiva di eventuali insufficienze e anomalie.
- Prevedere l'utilizzo di metodologie validate e di comprovato rigore tecnico-scientifico.
- Individuare parametri ed indicatori facilmente misurabili ed affidabili, nonché rappresentativi delle varie situazioni ambientali.
- Definire la scelta del numero, delle tipologie e della distribuzione territoriale delle stazioni di misura in modo rappresentativo delle possibili entità delle interferenze e della sensibilità/criticità dell'ambiente interessato.
- Prevedere la frequenza delle misure adeguata alle componenti che si intendono monitorare.

- Prevedere l'integrazione della rete di monitoraggio progettata dal PMA con le reti di monitoraggio esistenti.
- Prevedere la restituzione periodica programmata e su richiesta delle informazioni e dei dati in maniera strutturata e georeferenziata, di facile utilizzo ed aggiornamento, e con possibilità sia di correlazione con eventuali elaborazioni modellistiche, sia di confronto con i dati previsti nel SIA.
- Pervenire ad un dimensionamento del monitoraggio proporzionato all'importanza e all'impatto dell'Opera. Il PMA focalizzerà modalità di controllo indirizzate su parametri e fattori maggiormente significativi, la cui misura consenta di valutare il reale impatto della sola Opera specifica sull'ambiente. Priorità sarà attribuita all'integrazione quali/quantitativa di reti di monitoraggio esistenti che consentano un'azione di controllo duratura nel tempo.
- Definire la struttura organizzativa preposta all'effettuazione del MA
- Identificare e dettagliare il costo del monitoraggio - da inserire nel quadro economico del progetto definitivo - tenendo conto anche degli imprevisti

Il PMA deve sviluppare in modo chiaramente distinto le tre fasi temporali nelle quali si svolgerà l'attività di MA:

- Monitoraggio ante-operam, che si conclude prima dell'inizio di attività interferenti con la componente ambientale. In tale fase il Proponente recepisce e verifica tutti i dati reperiti e direttamente misurati per la redazione del SIA.
- Monitoraggio in corso d'opera, che comprende tutto il periodo di realizzazione, dall'apertura dei cantieri fino al loro completo smantellamento e al ripristino dei siti.
- Monitoraggio post-operam, comprendente le fasi di pre-esercizio ed esercizio, la cui durata è funzione sia della componente indagata sia della tipologia di Opera.

Le Linee guida redatte dalla Commissione speciale per la Valutazione di impatto ambientale, sopra citate, individuano i criteri metodologici per la redazione del Progetto di monitoraggio ambientale, riportati di seguito:

Nella redazione del PMA si devono seguire le seguenti fasi progettuali:

1. Analisi dei documenti di riferimento e pianificazione delle attività di progettazione: sulla base delle linee guida, saranno definiti gli obiettivi da perseguire, le modalità generali e le attività necessarie per la realizzazione del PMA, nonché le risorse da coinvolgere.
2. Definizione del quadro informativo esistente: in piena coerenza con il SIA ed eventualmente in integrazione a quanto riportato dal SIA stesso, sarà necessario approfondire ed aggiornare l'esame di tutti gli elaborati tecnico-progettuali, nonché condurre indagini conoscitive presso gli Enti Locali, al fine di meglio definire ed aggiornare il quadro delle eventuali attività di monitoraggio svolte o in corso di svolgimento, ovvero previste, nella fascia di territorio interessato dalla realizzazione dell'Opera.
3. Identificazione ed aggiornamento dei riferimenti normativi e bibliografici: sia per la definizione delle metodiche di monitoraggio che per la determinazione dei valori di riferimento, rispetto ai quali effettuare le valutazioni ambientali.

4. Scelta delle componenti ambientali: le componenti ambientali interessate sono quelle individuate nel SIA, integrate con quelle indicate dalle raccomandazioni e prescrizioni del parere di compatibilità ambientale.
5. Scelta degli indicatori ambientali: la scelta delle componenti da monitorare è basata sulla sensibilità e vulnerabilità alle azioni di progetto. I relativi parametri individuati e selezionati sono quelli la cui misura consente di risalire allo stato delle componenti ambientali che devono essere controllate. Tra di essi, particolare attenzione dovrà essere rivolta ai bio-indicatori che, laddove esistenti (dati di letteratura consolidati), saranno compresi tra quelli indagati.
6. Scelta delle aree da monitorare: la scelta delle aree è basata sulla sensibilità e vulnerabilità alle azioni di progetto, sia per la tutela della salute della popolazione sia per la tutela dell'ambiente, in particolare le aree di pregio o interesse individuate dalla normativa comunitaria, nazionale e regionale, nonché quelle indicate nel parere di compatibilità ambientale e nei provvedimenti di approvazione del progetto nei suoi diversi livelli.
7. Strutturazione delle informazioni: considerata la complessità e la vastità delle informazioni da gestire, si devono identificare tecniche di sintesi dei dati (grafiche e numeriche) che semplifichino la caratterizzazione e la valutazione dello stato ambientale ante-operam, in corso d'opera e post-operam. Deve essere pienamente considerata la chiarezza e la semplicità delle informazioni per consentire una piena partecipazione dei cittadini all'azione di verifica.
8. Programmazione delle attività: la complessità delle opere di progetto e la durata dei lavori richiedono una precisa programmazione, in relazione allo stato di avanzamento dei lavori, delle attività di raccolta, elaborazione e restituzione delle informazioni. Qualora si riscontrassero anomalie, occorre inoltre effettuare una serie di accertamenti straordinari atti ad approfondire e verificare l'entità del problema, determinarne la causa e indicare le possibili soluzioni.

Inoltre, relativamente alle modalità di attuazione del monitoraggio il PMA dovrà prevedere:

- a) L'individuazione delle attività di carattere preliminare, finalizzate all'acquisizione di tutte le necessarie informazioni esistenti ed all'effettuazione delle operazioni propedeutiche alle misure, quali:
 - sopralluoghi sui punti ove installare le apparecchiature;
 - acquisizione permessi;
 - georeferenziazione delle stazioni di misura.
- b) La scelta delle metodiche di rilievo, analisi ed elaborazioni dati, differenziate in funzione delle diverse tipologie di rilievo, delle fasi di monitoraggio e dei siti interessati.
- c) La scelta della strumentazione prevista per effettuare le operazioni di rilievo.
- d) L'articolazione temporale delle attività e frequenza per ciascun tipo di misura.

4.4.1. COMPONENTI AMBIENTALI OGGETTO DEL PMA

Le Linee guida sopracitate individuano l'elenco delle componenti e delle competenze specialistiche da prevedere nella struttura del PMA. Tali componenti sono riportate nella tabella seguente.

Componente e/o fattore ambientale	Competenze specialistiche
Atmosfera	- qualità dell'aria - meteorologia - fisica/chimica dell'atmosfera - biologia naturale
Ambiente idrico	- biologia - ingegneria idraulica o ambientale - geologia - chimica
Suolo e sottosuolo	- agronomia - pedologia - geologia e geomorfologia - idrogeologia - geotecnica
Vegetazione e flora, fauna, ecosistemi	- scienze forestali - botanica - agronomia - zoologia - pedologia - ecologia - telerilevamento
Rumore	- acustica ambientale - valutazione di impatto acustico
Vibrazioni	- ingegneria civile delle strutture - geotecnica - rilevamento vibrazioni - valutazione di impatto vibrazionale
Campi elettromagnetici	- rilevamento campi elettromagnetici - valutazione di impatto dei campi elettromagnetici
Paesaggio	- architettura del paesaggio - sociologia dell'ambiente e del territorio
Rifiuti – Rocce e terra da scavo	- gestione del ciclo dei rifiuti
Stato fisico dei luoghi, aree di cantiere e viabilità	- ingegneria civile e ambientale - architettura - geologia - geotecnica
Ambiente sociale	- sociologia dell'ambiente e del territorio - comunicazione

4.4.2. ARTICOLAZIONE TEMPORALE DEL MONITORAGGIO

Le varie fasi hanno la finalità di seguito illustrata:

a. Monitoraggio ante-operam:

- definire lo stato fisico dei luoghi, le caratteristiche dell'ambiente naturale ed antropico, esistenti prima dell'inizio delle attività;
- rappresentare la situazione di partenza, rispetto alla quale valutare la sostenibilità ambientale dell'Opera (quadro di riferimento ambientale del SIA), che costituisce termine di paragone per valutare l'esito dei successivi rilevamenti atti a descrivere gli effetti indotti dalla realizzazione dell'Opera;

- consentire la valutazione comparata con i controlli effettuati in corso d'opera, al fine di evidenziare specifiche esigenze ambientali ed orientare opportunamente le valutazioni di competenza della Commissione Speciale VIA.
- b. monitoraggio in corso d'opera:
- analizzare l'evoluzione di quegli indicatori ambientali, rilevati nello stato iniziale, rappresentativi di fenomeni soggetti a modifiche indotte dalla realizzazione dell'Opera, direttamente o indirettamente (es.: allestimento del cantiere);
 - controllare situazioni specifiche, al fine di adeguare la conduzione dei lavori;
 - identificare le criticità ambientali, non individuate nella fase ante-operam, che richiedono ulteriori esigenze di monitoraggio.
- c. monitoraggio post-operam:
- confrontare gli indicatori definiti nello stato ante-operam con quelli rilevati nella fase di esercizio dell'Opera;
 - controllare i livelli di ammissibilità, sia dello scenario degli indicatori definiti nelle condizioni ante-operam, sia degli altri eventualmente individuati in fase di costruzione;
 - verificare l'efficacia degli interventi di mitigazione e compensazione, anche al fine del collaudo.

4.4.3. RESTITUZIONE DEI DATI

Al fine di assicurare l'uniformità delle misure rilevate nelle diverse fasi del MA, ogni sistema di monitoraggio ambientale deve garantire, al minimo:

- a. controllo e validazione dei dati;
- b. archiviazione dei dati e aggiornamento degli stessi;
- c. confronti, simulazioni e comparazioni;
- d. restituzione tematiche;
- e. informazione ai cittadini.

Al fine di garantire l'acquisizione, la validazione, l'archiviazione, la gestione, la rappresentazione, la consultazione e l'elaborazione delle informazioni acquisite nello sviluppo del MA le linee guida suggeriscono l'utilizzo di un *sistema informativo* che gestisca i dati misurati e le analisi relative alle diverse componenti ambientali.

Il Sistema Informativo dovrà soddisfare i requisiti minimi di:

- facilità di utilizzo anche da parte di utenti non esperti;
- modularità e trasportabilità;
- manutenibilità ed espandibilità;
- gestione integrata di dati cartografici e alfanumerici;
- possibilità di analisi spaziale e temporale dei dati.

4.5. PIANO DI MONITORAGGIO PER LA COMPONENTE IDRICA

Le Linee guida redatte dalla Commissione speciale per la valutazione di impatto ambientale hanno stabilito che il PMA dovrà prevedere, per quanto concerne la componente "ambiente idrico", nella fase ante-operam:

- la definizione delle caratteristiche del reticolo idrografico con la relativa circolazione idrica superficiale e sotterranea esistente, prima dell'apertura dei cantieri;
- la definizione delle caratteristiche chimico-fisiche e organolettiche delle acque, le caratteristiche idrauliche storiche (es.: portata, livello della falda, livello del corpo idrico superficiale), i dissesti idrogeologici storici, etc., cui riferire l'esito dei successivi rilevamenti a seguito degli effetti indotti dalla realizzazione dell'Opera;
- la definizione della rete di pozzi nell'area vasta per tipologia (pozzi di attingimento di acquedotti, pozzi di controllo della falda, etc.), compresi fontanili/risorgive;
- l'analisi delle pressioni ambientali che insistono sull'ambiente idrico interessato dall'Opera;

La definizione della struttura della rete di monitoraggio deve prevedere l'interfaccia sia con le reti locali di monitoraggio sia con le reti regionali e/o nazionali meteo-idropluviometriche, di qualità delle acque e marine (ondametri e mareografia) ove esistenti.

Nella redazione del PMA della componente deve essere inoltre fatto riferimento agli standard adottati a livello nazionale per le reti idrometeoropluviometriche e marine (Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale ora APAT) sulla base delle linee guida dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale.

La scelta delle aree da monitorare, deve essere basata sulla sensibilità e vulnerabilità delle stesse alle azioni di progetto.

Le aree devono essere differenziate in funzione dei criteri di indagine e delle potenzialità di interferenza della componente ambientale in esame (bacino idrografico, idrogeologia, etc.).

I criteri che dovranno essere tenuti presenti nella loro determinazione sono:

- presenza di sorgenti puntuali di interferenza nel caso questa sia discretizzata (es. vasche, serbatoi, scarichi, etc.);
- presenza di elementi significativi, attuali o previsti, rispetto ai quali è possibile rilevare una modifica delle condizioni di stato dei parametri caratterizzanti (es.: modifica del reticolo idrografico, superficiale e sotterraneo per la costruzione di rilevati e gallerie, etc.).

Verranno sottoposti a monitoraggio tutti i punti scelti per il monitoraggio ante operam, e in particolare:

- le falde acquifere, sorgenti e pozzi presenti nella zona interessata dall'Opera;
- i parametri idraulici, organolettici e chimico-fisici delle acque, sia superficiali che sotterranee, dei corpi idrici interessati dall'Opera;
- gli impluvi principali, i corsi d'acqua ed i loro affluenti ed in genere i bacini idrografici sui quali insiste l'Opera;

- la zona marino-costiera interessata dai bacini scolanti intersecati dall'Opera;
- i suoli ad elevata permeabilità, interessati dalle opere, in particolare nelle aree dove è ipotizzabile il rischio di inquinamento anche accidentale;
- le zone interessate da rilevanti opere in sottterraneo quali gallerie, fondazioni a pozzo e/o grossi movimenti terra che possono variare il regime del reticolo idrografico superficiale e/o sottterraneo;
- le aree a rischio idrogeologico, già classificate e/o individuate nel SIA, interessate dall'Opera.

Le Linee guida stabiliscono che, in via esemplificativa, per assicurare uniformità e comparabilità dei dati riferiti alle varie fasi temporali e in diverse aree geografiche, il PMA dovrà individuare almeno i seguenti aspetti:

- l'ubicazione dei punti di monitoraggio;
- i parametri da rilevare;
- la durata del campionamento;
- il numero dei campioni da rilevare nel periodo di osservazione (in funzione di parametri quali: lo stato del corpo ricettore, le condizioni climatiche locali (piovosità, venti, umidità, etc.), la tipologia dell'Opera e la movimentazione di materiali connessa, le modificazioni del reticolo idrografico in seguito ad apporti o prelievi di materiali finalizzati all'Opera, le caratteristiche della permeabilità e dei parametri idrogeologici del sito, etc.);
- le condizioni meteorologiche in cui si prevede di effettuare le misure;
- la strumentazione da impiegare.

5. LA LEGISLAZIONE SUGLI SCARICHI

Un aspetto fondamentale da considerare durante la realizzazione di un'opera sotterranea è la destinazione finale delle acque intercettate durante lo scavo. Sebbene, qualora possibile, il riutilizzo delle acque a scopo idropotabile sia da preferirsi in tanti casi tale soluzione non è perseguibile.

La tutela delle acque dall'inquinamento rappresenta un aspetto fondamentale della tutela dell'ambiente naturale. Il D.Lgs. 152/2006 e smi, Parte Terza, costituisce il riferimento normativo in tema di scarichi in corpi idrici superficiali. Il decreto agisce da diversi punti di vista:

- Individua gli obiettivi minimi di qualità ambientale;
- Stabilisce i valori limite degli scarichi nei corpi idrici recettori, in funzione degli obiettivi di qualità di questo;
- Individua nell'autorizzazione allo scarico lo strumento per la tutela della qualità dei corpi idrici.
- Tra le tipologie di acque reflue individuate dal Decreto (domestiche, industriali, urbane ed assimilabili), quelle di interesse per il presente studio sono le acque reflue industriali, definite come "qualsiasi tipo di acque reflue scaricate da edifici od impianti in cui si svolgono attività commerciali o di produzione di beni, diverse dalle acque reflue domestiche e dalle acque meteoriche di dilavamento".

Gli scarichi possono essere recapitati, a determinate condizioni:

- In acque superficiali (corsi d'acqua, laghi, acque marine);
- Nel suolo e sottosuolo;
- Nella rete fognaria.

L'ambito di studio della presente tesi si limita all'analisi degli scarichi idrici industriali in acque superficiali, in particolare, in corsi d'acqua.

Lo scarico in acque superficiali è normato dall'art. 105 del D.Lgs., che rimanda all'Allegato 5 alla parte terza, che fissa i valori limite degli scarichi stessi.

Le Regioni possono fissare limiti più restrittivi di quanto riportato nell'Allegato 5 del Decreto.

Il punto 1.2 dell'Allegato citato tratta le acque reflue industriali, per le quali fissa le seguenti norme generali:

Gli scarichi di acque reflue industriali in acque superficiali, devono essere conformi ai limiti di emissione indicati nella successiva tabella 3 o alle relative norme disposte dalle Regioni;

Le determinazioni analitiche ai fini del controllo di conformità degli scarichi di acque reflue industriali sono di norma riferite ad un campione medio prelevato nell'arco di tre ore

Di seguito si riporta la tabella contenente i valori limite per gli scarichi industriali in acque superficiali.

Numero parametro	SOSTANZE	unità di misura	Scarico in acque superficiali	Scarico in pubblica fognatura (*)
1	pH	-	5,5-9,5	5,5-9,5
2	Temperatura	°C	(1)	(1)
3	colore	-	non percettibile con diluizione 1:20	non percettibile con diluizione 1:40
4	odore	-	non deve essere causa di molestie	non deve essere causa di molestie
5	materiali grossolani	-	assenti	assenti
6	Solidi sospesi totali (2)	mg/L	≤ 80	≤ 200
7	BOD5 (come O2) (2)	mg/L	≤ 40	≤ 250
8	COD (come O2) (2)	mg/L	≤ 160	≤ 500
9	Alluminio	mg/L	≤ 1	≤ 2,0
10	Arsenico	mg/L	≤ 0,5	≤ 0,5
11	Bario	mg/L	≤ 20	-
12	Boro	mg/L	≤ 2	≤ 4
13	Cadmio	mg/L	≤ 0,02	≤ 0,02
14	Cromo totale	mg/L	≤ 2	≤ 4
15	Cromo VI	mg/L	≤ 0,2	≤ 0,20
16	Ferro	mg/L	≤ 2	≤ 4
17	Manganese	mg/L	≤ 2	≤ 4
18	Mercurio	mg/L	≤ 0,005	≤ 0,005
19	Nichel	mg/L	≤ 2	≤ 4
20	Piombo	mg/L	≤ 0,2	≤ 0,3
21	Rame	mg/L	≤ 0,1	≤ 0,4
22	Selenio	mg/L	≤ 0,03	≤ 0,03
23	Stagno	mg/L	≤ 10	-
24	Zinco	mg/L	≤ 0,5	≤ 1,0
25	Cianuri totali (come CN)	mg/L	≤ 0,5	≤ 1,0
26	Cloro attivo libero	mg/L	≤ 0,2	≤ 0,3
27	Solfuri (come S)	mg/L	≤ 1	≤ 2
28	Solfiti (come SO2)	mg/L	≤ 1	≤ 2
29	Solfati (come SO3) (3)	mg/L	≤ 1000	≤ 1000
30	Cloruri (3)	mg/L	≤ 1200	≤ 1200
31	Fluoruri	mg/L	≤ 6	≤ 12
32	Fosforo totale (come P) (2)	mg/L	≤ 10	≤ 10
33	Azoto ammoniacale (come NH4) (2)	mg /L	≤ 15	≤ 30
34	Azoto nitroso (come N) (2)	mg/L	≤ 0,6	≤ 0,6
35	Azoto nitrico (come N) (2)	mg /L	≤ 20	≤ 30
36	Grassi e olii animali/vegetali	mg/L	≤ 20	≤ 40
37	Idrocarburi totali	mg/L	≤ 5	≤ 10
38	Fenoli	mg/L	≤ 0,5	≤ 1
39	Aldeidi	mg/L	≤ 1	≤ 2
40	Solventi organici	mg/L	≤ 0,2	≤ 0,4

Numero parametro	SOSTANZE	unità di misura	Scarico in acque superficiali	Scarico in pubblica fognatura (*)
	aromatici			
41	Solventi organici azotati (4)	mg/L	≤ 0,1	≤ 0,2
42	Tensioattivi totali	mg/L	≤ 2	≤ 4
43	Pesticidi fosforati	mg/L	≤ 0,10	≤ 0,10
44	Pesticidi totali (esclusi i fosforati) (5)	mg/L	≤ 0,05	≤ 0,05
	tra cui:			
45	- aldrin	mg/L	≤ 0,01	≤ 0,01
46	- dieldrin	mg/L	≤ 0,01	≤ 0,01
47	- endrin	mg/L	≤ 0,002	≤ 0,002
48	- isodrin	mg/L	≤ 0,002	≤ 0,002
49	Solventi clorurati (5)	mg/L	≤ 1	≤ 2
50	<i>Escherichia coli</i> (6)	UFC/100mL	Nota	
51	Saggio di tossicità acuta (7)		Il campione non è accettabile quando dopo 24 ore il numero degli organismi immobili è uguale o maggiore del 50% del totale	il campione non è accettabile quando dopo 24 ore il numero degli organismi immobili è uguale o maggiore del 80% del totale

(*) I limiti per lo scarico in **rete fognaria** indicati in tabella 3 sono obbligatori in assenza di limiti stabiliti dall'autorità d'ambito o in mancanza di un impianto finale di trattamento in grado di rispettare i limiti di emissione dello scarico finale. Limiti diversi stabiliti dall'ente gestore devono essere resi conformi a quanto indicato alla nota 2 della tabella 5 relativa a sostanze pericolose.

- Per i corsi d'acqua la variazione massima tra temperature medie di qualsiasi sezione del corso d'acqua a monte e a valle del punto di immissione non deve superare i 3°C. Su almeno metà di qualsiasi sezione a valle tale variazione non deve superare 1°C. Per i laghi la temperatura dello scarico non deve superare i 30°C e l'incremento di temperatura del corpo recipiente non deve in nessun caso superare i 3°C oltre 50 metri di distanza dal punto di immissione. Per i canali artificiali, il massimo valore medio della temperatura dell'acqua di qualsiasi sezione non deve superare i 35°C, la condizione suddetta è subordinata all'assenso del soggetto che gestisce il canale. Per il mare e per le zone di foce di corsi d'acqua non significativi, la temperatura dello scarico non deve superare i 35°C e l'incremento di temperatura del corpo recipiente non deve in nessun caso superare i 3°C oltre i 1000 metri di distanza dal punto di immissione. Deve inoltre essere assicurata la compatibilità ambientale dello scarico con il corpo recipiente ed evitata la formazione di barriere termiche alla foce dei fiumi.
- Per quanto riguarda gli scarichi di acque reflue urbane valgono i limiti indicati in tabella 1 e, per le zone sensibili anche quelli di tabella 2. Per quanto riguarda gli scarichi di acque reflue industriali recapitanti in zone sensibili la concentrazione di fosforo totale e di azoto totale deve essere rispettivamente di 1 e 10 mg/L.
- Tali limiti non valgono per lo scarico in mare, in tal senso le zone di foce sono equiparate alle acque marine costiere, purché almeno sulla metà di una qualsiasi sezione a valle dello scarico non vengano disturbate le naturali variazioni della concentrazione di solfati o di cloruri.
- Sono inclusi in questo parametro PCB e PCT
- Esclusi i composti come i pesticidi clorurati rientranti sotto i parametro 44, 45, 46, 47 e 48.
- All'atto dell'approvazione dell'impianto per il trattamento di acque reflue urbane, da parte dell'autorità competente andrà fissato il limite più opportuno in relazione alla situazione ambientale e igienico sanitaria del corpo idrico recettore e agli usi esistenti. Si consiglia un limite non superiore ai 5000 UFC/100mL
- Il saggio di tossicità è obbligatorio. Oltre al saggio su *Daphnia magna*, possono essere eseguiti saggi di tossicità acuta su *Ceriodaphnia dubia*, *Selenastrum capricornutum*, batteri bioluminescenti o organismi

Numero parametro	SOSTANZE	unità di misura	Scarico in acque superficiali	Scarico in pubblica fognatura (*)
<i>quali Artemia salina, per scarichi di acqua salata o altri organismi tra quelli che saranno indicati dall'ANPA in appositi documenti tecnici predisposti al fine dell'aggiornamento delle metodiche di campionamento ed analisi. In caso di esecuzione di più test di tossicità si consideri il risultato peggiore. Il risultato positivo della prova di tossicità non determina l'applicazione diretta delle sanzioni di cui al Titolo V, determina altresì l'obbligo di approfondimento delle indagini analitiche, la ricerca delle cause di tossicità e la loro rimozione.</i>				

6. TECNICHE E STRUMENTI DI MONITORAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

6.1. PREMESSA

Con il termine di monitoraggio si intende un controllo nel tempo dell'andamento dei fenomeni fisici, chimici e biologici mediante apparecchiature o con l'ausilio di tecniche analitiche (Vigna, 2002). In campo ambientale è corretto parlare di monitoraggio ad alta frequenza: cioè un monitoraggio eseguito ad una frequenza sufficientemente alta, rispetto al processo monitorato, tale da rendere significative e tempestive le eventuali correzioni al processo stesso.

La conoscenza di un acquifero passa, necessariamente, attraverso lo studio della variabilità spaziale e temporale delle acque che in esso circolano: innalzamento/abbassamento dei livelli piezometrici, variazioni di temperatura e conducibilità elettrica, cambiamenti nel chimismo, ecc. Al contempo è fondamentale stimare in maniera più accurata possibile gli input e gli output del sistema acquifero in esame ovvero misurare gli apporti meteorici (precipitazioni e fusione nivale) e le portate e il chimismo delle acque sotterranee.

Risulta quindi evidente come la comprensione di un sistema acquifero sia imprescindibile dalla realizzazione di un monitoraggio effettuato ad hoc. L'utilizzo di modelli numerici e concettuali, strumenti fondamentali per la semplificazione di un sistema complesso come quello di un acquifero, può e deve essere realizzato sulla base di un monitoraggio mirato sia in fase di definizione che in fase di calibrazione del modello stesso. Inoltre l'interpretazione dei dati derivanti da un modello deve essere compiuta avendo coscienza di quella che è la realtà che si intende simulare

Nello studio di un sistema acquifero i parametri principali per la caratterizzazione idrogeologica sono:

- livello piezometrico
- portata idrica
- conducibilità elettrica specifica (C.E.)
- temperatura delle acque
- precipitazione (liquida o solida/nivale)

Ricoprono poi, una fondamentale importanza, in alcuni casi, anche i dati relativi a:

- potenziale redox (Eh)
- pH
- percentuale di ossigeno disciolto
- concentrazione di ioni disciolti (Calcio, Magnesio, Bicarbonato, Solfati, Cloruri, Sodio, Potassio, Nitrati, metallici)
- torbidità

La maggior parte di questi parametri, eccezion fatta per la misura della concentrazione di ioni che, generalmente, richiede un campionamento ed una successiva analisi in laboratorio, viene rilevata direttamente in situ manualmente o tramite l'utilizzo di acquisitori automatici.

Per la comprensione del funzionamento di un sistema acquifero risulta quindi di fondamentale importanza l'utilizzo e la conoscenza di strumentazioni e tecniche adeguate alla misura dei parametri sopra elencati.

Infine, per l'individuazione di eventuali connessioni idriche tra punti noti di un sistema acquifero (es. area di alimentazione – sorgente/i, area di alimentazione – piezometro/i, piezometro – piezometro/i) risulta indispensabile l'utilizzo dei traccianti.

6.2. MISURE IN SITO E STRUMENTAZIONE

La Tabella 5 seppur non esaustiva, sintetizza i principali strumenti utilizzati per la caratterizzazione idrogeologica di un sistema acquifero operando una distinzione tra quelli che richiedono un utilizzo/misura manuale e quelli che operano in maniera automatica; sono state inserite anche le misure relative alla precipitazione.

Tabella 5: Principali strumenti per la caratterizzazione idrogeologica di un acquifero

	PARAMETRO MISURATO	STRUMENTI UTILIZZATI PER LA MISURA MANUALE	STRUMENTI UTILIZZATI PER LA MISURA AUTOMATICA
MISURE ESEGUITE ALL'EMERGENZA / SORGENTE	Portata	<ul style="list-style-type: none"> - Mulinello idraulico - Stramazzo - Canali di misura - Tubo di Pitot - Misuratore a turbina - Anemometri a pale - Sistemi a risonanza magnetica 	<ul style="list-style-type: none"> - Sonde automatiche con trasduttore di pressione - Sensore ad ultrasuoni - Sensore a bolle
	Conducibilità elettrica	<ul style="list-style-type: none"> - Conduttimetro 	<ul style="list-style-type: none"> - Sonde automatiche con conduttimetro integrato
	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Termometro 	<ul style="list-style-type: none"> - Sonde automatiche con termometro integrato
	Potenziale redox	<ul style="list-style-type: none"> - Sonda con elettrodo (ORP) dedicato 	<ul style="list-style-type: none"> - Sonda con elettrodo (ORP) dedicato³
	pH	<ul style="list-style-type: none"> - Sonda con elettrodo dedicato 	<ul style="list-style-type: none"> - Sonda con elettrodo dedicato²
	Percentuale di ossigeno disciolto	<ul style="list-style-type: none"> - Sonda con elettrodo (DO) dedicato 	<ul style="list-style-type: none"> - Sonda con elettrodo (DO) dedicato²
	Torbidità	<ul style="list-style-type: none"> - Turbidimetro portatile 	<ul style="list-style-type: none"> - Sonda turbidimetrica - Fluorimetro
MISURE ESEGUITE IN PIEZOMETRO / POZZO	Livello piezometrico	<ul style="list-style-type: none"> - Freatimetro 	<ul style="list-style-type: none"> - Sonde automatiche con trasduttore di pressione
	Conducibilità elettrica	<ul style="list-style-type: none"> - Conduttimetro (utilizzato in seguito a campionamento) 	<ul style="list-style-type: none"> - Sonde automatiche con conduttimetro integrato
	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Termometro (utilizzato in seguito a campionamento) 	<ul style="list-style-type: none"> - Sonde automatiche con termometro integrato
	pH	<ul style="list-style-type: none"> - Sonda con elettrodo dedicato (utilizzato in seguito a campionamento) 	
	Potenziale redox	<ul style="list-style-type: none"> - Sonda con elettrodo dedicato (utilizzato in seguito a campionamento) 	
	Percentuale di ossigeno disciolto	<ul style="list-style-type: none"> - Sonda con elettrodo dedicato (utilizzato in seguito a campionamento) 	
	Torbidità	<ul style="list-style-type: none"> - Turbidimetro portatile (utilizzato in seguito a campionamento) 	<ul style="list-style-type: none"> - Sonda turbidimetrica - Fluorimetro
MISURE DI PRECIPITAZIONE	Precipitazione liquida		<ul style="list-style-type: none"> - Pluviometro con datalogger integrato
	Precipitazione solida (nivale)		<ul style="list-style-type: none"> - Pluvionivometro con datalogger integrato

³ Gli elettrodi per la misura del potenziale redox e ossigeno disciolto richiedono una taratura piuttosto frequente e le sonde, seppur utilizzabili in modalità automatica, non nascono per essere utilizzate in campo

6.2.1. LE MISURE MANUALI

Le misure eseguite manualmente, seppur in parte soppiantate da acquisitori automatici, restano uno strumento fondamentale e imprescindibile nello studio di un sistema acquifero in quanto garantiscono una maggior sicurezza nel dato misurato e la sensibilità dell'operatore che le esegue non potrà mai essere superata da alcun automatismo. Tali misure devono essere utilizzate per il controllo dei dati acquisiti automaticamente al fine di individuare eventuali errori legati a malfunzionamenti o a errate tarature.

Di seguito, dunque, si riporta una breve descrizione dei diversi strumenti utilizzati per le misure manuali di portata presso le emergenze o le sorgenti del sistema acquifero in studio (Banzato, 2009):

Il mulinello idraulico (o idrometrico), consiste in un'elica collegata ad un dispositivo che misura la velocità di rotazione: il flusso idrico fa ruotare la girante la cui velocità angolare risulta proporzionale alla velocità dell'acqua. Sull'asse dell'elica è inserita una ruota con dei fori che passando di fronte ad un sensore induttivo genera un segnale proporzionale alla velocità di rotazione, nonché al numero di fori. Il diametro dell'elica varia da un minimo di 5 mm ad alcuni centimetri e la velocità massima misurabile corrisponde a 3 m/s per i micro-mulinelli e 10 m/s per i mulinelli. I mulinelli essendo asimmetrici e unidirezionali misurano la velocità in un solo verso, mentre i micro-mulinelli, simmetrici, possono misurare le velocità nei due sensi. La velocità di rotazione angolare dell'elica dipende dalle caratteristiche geometriche e dal numero di Reynolds dell'elica, nonché dalla viscosità cinematica e dalla velocità asintotica del fluido. Quando si è in presenza di moto turbolento, il numero di Reynolds diventa nullo. La risposta in frequenza è limitata dall'inerzia della girante.

Tra gli errori maggiormente riscontrati durante l'utilizzo del mulinello idraulico quello più frequente è dovuto alla presenza di corpi estranei nell'acqua, che incastrandosi tra le eliche della girante possono provocare una variazione nelle velocità di rotazione, oppure la mancata o mal calibrata taratura iniziale dello strumento. In genere la calibrazione del mulinello avviene facendo ruotare l'elica a velocità nota in un canale con fluido in quiete.

Il Tubo di Pitot, viene utilizzato per la misurazione della pressione dinamica e della velocità di un fluido, dal quale si può ricavarne la portata, conoscendo la sezione del tubo. Il metodo si basa sull'installazione di un tubo aperto su ambo i lati, piegato a 90° all'interno di un fluido in movimento. In questo modo all'interno del tubo, l'acqua risale di un'altezza proporzionale all'altezza cinetica, a sua volta funzione della velocità del fluido nel punto di misura e dell'accelerazione di gravità.

Il misuratore a turbina, è in grado di misurare la velocità media di un fluido. Lo strumento consiste in un corpo cavo all'interno del quale è installata una turbina che ruota per effetto del flusso ed il cui numero di giri risulta proporzionale alla portata. Di fronte alle palette della turbina si trova un misuratore induttivo che conta quante volte le palette passano nell'unità di tempo. Questo numero viene in seguito convertito in un segnale analogico proporzionale alla portata misurata.

Le ventoline o anemometri a pale si usano per velocità di flusso molto basse. La ventola, messa in moto dal fluido in movimento, fornisce una serie di impulsi elettrici attraverso un magnete posto su una pala e un sensore ubicato su un supporto, generando così un'onda in grado di fornire il valore della velocità.

I sistemi a risonanza magnetica, basano il loro funzionamento sul fatto che l'acqua, un dipolo, inserita in un campo magnetico, orienta ogni suo singolo ione in funzione del campo. È quindi

possibile magnetizzare alcune “porzioni” di acqua attraverso i magneti: la risposta all’azione di magnetizzazione e smagnetizzazione di una singola calamita viene misurata attraverso un secondo magnete che segue il primo lungo la linea di flusso del fluido. Il risultato del rapporto tra spazio e tempo, fornisce la velocità.

Uno **stramazzo** è uno sbarramento con un’apertura (bocca) di forma definita, costruito su un canale naturale o artificiale che, verso monte, crea una vasca di calma con scorrimento molto lento. Le geometrie della bocca possono essere molteplici. La più comune, con apertura triangolare (stramazzo triangolare, appunto), è ideale per misure di piccola portata e di estrema precisione anche per blande variazioni del flusso. Per portate elevate (superiori alla decina di litri al secondo), si usa uno stramazzo rettangolare a pareti sottili con o senza contrazione, detto anche Bazin, o lo stramazzo a pareti larghe. Lo stramazzo Cipolletti, presenta invece un’apertura trapezoidale.

Tali opere, facili da realizzare e generalmente economiche, possono essere costruite con cemento, materiali inerti ed eventualmente una lastra metallica.

In generale comunque, per la loro realizzazione, valgono alcune considerazioni: a valle della bocca a stramazzo deve essere garantita una buona aerazione del getto fluente per evitare che il flusso aderisca alla parete; la distanza tra il bordo di sfioro e il massimo livello dell’acqua a valle dello stramazzo deve essere maggiore di 5 cm in modo da evitare eventuali rigurgiti all’indietro; il bordo di sfioro deve essere perfettamente orizzontale.

Il **canale di misura**, chiamato anche canale a contrazione laterale o “Canale Venturi” (Vigna, 2002), può avere forme e caratteristiche differenti in funzione delle condizioni di applicazione. Il loro scopo è quello di creare un restringimento e/o una variazione di pendenza della sezione di flusso, costringendo così il liquido ad una velocità costante.

Rispetto agli stramazzi, i canali di misura presentano costi superiori, nonché una maggiore difficoltà di realizzazione, nonostante talvolta consentano la costruzione di un prefabbricato in materiali metallici da inserire interamente in loco. In genere i materiali più usati sono la fibra di vetro, il cemento e l’acciaio. A loro favore invece risulta il fatto di essere autopulenti e quindi di richiedere una minore manutenzione rispetto agli stramazzi. Inoltre è possibile ottenere buoni risultati in presenza di bassi livelli idrici.

La portata degli stramazzi e dei canali è determinata dalla misurazione dell’altezza del liquido nella vasca di calma a monte e dal successivo calcolo utilizzando le opportune formule elaborate per le diverse geometrie della bocca a stramazzo. È sempre importante effettuare alcune misure puntuali di portata con altri metodi per verificare l’attendibilità dei dati calcolati. Occorre inoltre tenere presente che in prossimità dell’apertura dello stramazzo si verifica un abbassamento della superficie libera legato alla viscosità e alla tensione superficiale dell’acqua (anche alcuni centimetri). La misura precisa deve quindi essere rilevata ad una distanza dalla bocca di 3-4 volte l’altezza d’acqua sullo strumento corrispondente alla portata massima.

Per l’esecuzione di misure di soggiacenza e, conseguentemente, del livello piezometrico viene utilizzato il **Freatimetro**: strumento dotato di sensore piezometrico che, calato all’interno della cavità, a contatto del pelo dell’acqua emette un segnale luminoso e/o acustico. I freatimetri basano il loro funzionamento sfruttando la proprietà conduttrice dell’acqua, una volta a contatto con il liquido, viene chiuso il circuito dello strumento ed attivato il segnale.

Per le misure manuali di conducibilità elettrica, temperatura, pH, potenziale redox e ossigeno disciolto, solitamente, vengono utilizzate delle **sonde portatili** che ospitano uno o più elettrodi (sonde multiparametriche) specificamente dedicati alla misura dei suddetti parametri (Figura 12).



Figura 12: sonda portatile multiparametrica

Le misure di torbidità eseguite manualmente vengono realizzate tramite **turbidimetro portatile**: la luce infrarossa attraversa la cuvetta contenente il campione da analizzare. La sorgente luminosa è un LED ad infrarosso, con una lunghezza di 890 nm, che minimizza le interferenze causate dalla eventuale colorazione dei campioni. Il sensore è posto a 90° rispetto alla direzione della luce e rileva l'intensità della luce diffusa della particelle in sospensione.

6.2.2. LE MISURE AUTOMATICHE

Le misure manuali, sebbene fondamentali, mostrano delle lacune oggettive in quanto, per ovvi motivi operativi (elevata distanza tra il punto da monitorare e il luogo di partenza dell'operatore, condizioni climatiche avverse, problemi legati alla viabilità, ecc) possono essere eseguite con una frequenza, generalmente, piuttosto ridotta. Le peculiari caratteristiche idrodinamiche degli acquiferi, soprattutto se interessati da rapide e notevoli variazioni della portata, suggeriscono un approccio metodologico particolare, con misure dei livelli idrici e dei principali parametri chimico-fisici delle acque molto ravvicinate nel tempo al fine di ottenere una corretta interpretazione del funzionamento di un sistema acquifero (Vigna, 2002). Attraverso l'utilizzo di acquisitori automatici è invece possibile raccogliere le utilissime informazioni relative alle diverse modalità di circolazione delle acque sotterranee, evidenziando con estremo dettaglio le variazioni temporali dei principali parametri idrodinamici e geochimici delle acque, in particolare durante i periodi di piena (Vigna, 1992). Risulta dunque indispensabile affiancare alle misure eseguite manualmente le misure eseguite in automatico dalla strumentazione predisposta.

Le caratteristiche principali che gli strumenti automatici di misura devono avere sono:

- Autonomia nel funzionamento: gli strumenti vengono, per lo più, installati in zone prive di rete elettrica per tanto devono poter funzionare, anche per lunghi periodi, grazie a batterie
- Portabilità: non sempre l'avvicinamento alla zona in cui verrà installato lo strumento può avvenire su strada carrabile
- Impermeabilità o resistenza all'acqua: il datalogger che caratterizza tutti gli strumenti di acquisizione automatica viene generalmente ubicato o nei pressi dell'emergenza o all'interno di piezometri; la condensa che si crea in questi luoghi non deve comprometterne il funzionamento.
- Resistenza a forti escursioni termiche: la misurazione non deve interrompersi nonostante le temperature dell'aria possano raggiungere valori estremi (- 15°C, + 50°C)

Esistono diversi tipi di misuratori automatici, i più utilizzati sono:

Il **sensore ad ultrasuoni** è il più diffuso per misure in corsi d'acqua superficiali. La tecnica di misura si basa sul principio di un cono di onde ultrasonore che partono da un sensore posto sopra la superficie da misurare.

Il **sensore a bolle** è meno diffuso e si basa su una piccola pompa che fornisce un flusso d'aria all'interno di un tubicino che viene posizionato in acqua, ottenendo un effetto di gorgogliamento d'aria da cui il nome della tecnica.

Il **trasduttore di pressione** è lo strumento più utilizzato. Si basa su un sensore sommerso che misura la pressione che il fluido stesso esercita sul trasduttore, determinando l'altezza del liquido. I modelli più precisi registrano anche il valore della pressione atmosferica che influenza il dato finale (Figura 13).



Figura 13: Sonda dotata di trasduttore di pressione e datalogger integrato

Tale strumento può essere utilizzato sia per la misura di **portata** all'emergenza sia per la misura di **livello piezometrico** all'interno di un piezometro o di un pozzo.

Gli acquisitori automatici, inizialmente, possono essere impostati con un intervallo di acquisizione abbastanza breve (1-2 ore), in modo da vedere quale tipo di risposta fornisce l'acquifero e con quale velocità si verifica. In funzione di queste due caratteristiche verrà quindi definito l'intervallo di acquisizione. Se il primo periodo di monitoraggio fornisce risposte impulsive estremamente rapide rispetto agli eventi infiltrativi, tipiche di acquiferi ad elevata organizzazione di flusso, significa che

l'acquisitore automatico deve essere impostato in modo tale da registrare i dati almeno ogni ora. Può essere valutato anche l'intervallo di due ore, ma solamente nel caso in cui i cambiamenti dei valori di portata non avvengono nell'arco di poche ore, perché così facendo si rischierebbe di perdere il picco di livello. Quando il primo periodo di risposta rileva cambiamenti blandi o inesistenti in seguito alle precipitazioni, il tempo di acquisizione può essere ridotto. Rimane comunque il fatto che se oltre al parametro portata vengono misurati anche altri parametri, quali la temperatura, sarebbe il caso di registrare almeno due dati al giorno in modo da avere un valore diurno e uno notturno.

Ogni misuratore è in grado di funzionare autonomamente per lunghi periodi, grazie all'utilizzo di una batteria interna o esterna allo strumento stesso, che fornisce l'alimentazione necessaria al funzionamento di quest'ultimo. In genere ogni 3-4 mesi viene cambiata la batteria (nel caso in cui si utilizzino strumenti con alimentazione esterna), vengono scaricati i dati mediante un computer portatile ed eseguita la taratura dei parametri monitorati.

Gli acquisitori tradizionali sono apparecchi di dimensioni e peso molto ridotti in genere costituiti da una sonda e da un acquisitore con relative batterie.

La prima, dotata di diversi sensori, deve essere immersa in acqua e fissata ad un valido punto di ancoraggio, poiché durante le piene i livelli idrici e la velocità di deflusso possono aumentare notevolmente. Se ubicata all'emergenza in genere viene scelta una zona con corrente non troppo elevata (mai in acqua bianca) ed eventualmente si protegge la sonda con un tubo forato. L'acquisitore (quando è separato dalla sonda) deve invece essere installato in un luogo sicuro al di fuori della portata di piena. Lo stesso vale per le batterie, quando esterne allo strumento, e al cavo di scarico dati, nel caso in cui acquisitore e sonda si trovino all'interno dello stesso involucro.

La frequenza di acquisizione viene programmata al momento dell'installazione dello strumento, mediante un computer, e può variare tra qualche decina di secondi a diverse ore. L'intervallo di acquisizione influenza ovviamente la durata massima di funzionamento dello strumento in quanto una maggiore frequenza determina un consumo maggiore di batteria.

Terminato il periodo di acquisizione, i dati registrati vengono scaricati mediante un computer portatile. Il periodo varia notevolmente in funzione del luogo di installazione, nonché del tipo di strumentazione adoperata. Alcuni acquisitori con batteria esterna al piombo, necessitano di una sostituzione della stessa ogni 3-4 mesi, tenendo conto che, con l'invecchiamento della batteria, il periodo di carica della stessa tende a diminuire e le sostituzioni a infittirsi. Anche nei casi in cui le batterie hanno vita maggiore, conviene comunque un controllo degli strumenti almeno due volte l'anno per evitare mal funzionamenti dovuti ai più diversi motivi.

La taratura deve essere eseguita ogni qualvolta ci si rechi sul luogo di installazione, anche se le strumentazioni sono dotate di sensori che, sulla base delle caratteristiche tecniche indicate dalle case costruttrici, dovrebbero dare derive solo in tempi molto lunghi. In ogni caso è sempre consigliabile verificare in loco l'attendibilità dei dati acquisiti utilizzando dispositivi portatili debitamente tarati e precisi.

Gli acquisitori automatici oggi in commercio sono in grado di misurare e registrare numerosi parametri delle acque sotterranee, oltre al livello piezometrico, tra i quali i valori di **temperatura**, di **conducibilità elettrica specifica**, di pH e di ossigeno disciolto.



Figura 14: Acquisitore automatico dotato per la misura di diversi parametri

Esistono diversi modelli di sonde collegate (Figura 14) ad acquisitori automatici, con caratteristiche diverse. La scelta del tipo di sonda dipende dai parametri che si intendono analizzare, dal luogo in cui va installato lo strumento (dato che alcuni necessitano di batteria esterna), dal livello di precisione che si vuole raggiungere (visti i diversi gradi di sensibilità degli strumenti), dal range massimo da misurare e così via.

Il costo degli strumenti dipende ovviamente dal tipo e dal numero di parametri che si intende registrare, ma rimanendo ai soli due parametri considerati come i migliori traccianti naturali, temperatura e conducibilità elettrica, è possibile trovare acquisitori automatici a prezzi relativamente accessibili.

6.2.3. LE MISURE DEGLI APPORTI

Il monitoraggio di un acquifero richiede anche la conoscenza dei apporti: misura delle precipitazioni liquide (piogge) e solide (neve)

Gli strumenti più idonei per misurare i valori delle precipitazioni liquide sono i **pluviometri**, costituiti da un contenitore aperto di forma cilindrica. Il raccoglitore termina nella parte superiore con un imbuto, chiamato collettore, collegato al sistema che permette il conteggio dell'entità di precipitazione. Tale misurazione avviene mediante tre diversi tipi di registrazioni: a peso, a galleggiamento e a vaschette basculanti.

Il numero e la posizione esatta di pluviometri da installare viene decisa in funzione della morfologia e geometria dell'area di alimentazione. Nei sistemi con dimensioni ridotte è sufficiente l'installazione di un unico pluviometro generalmente ad una quota media rispetto all'intera area assorbente, in località protetta dal vento, poiché quest'ultimo influisce pesantemente sulla precisione della misura.

Generalmente i pluviometri sono dotati di acquisitore automatico alimentato a batterie e sono in grado di funzionare anche oltre sei mesi. Necessitano però di controlli più frequenti per

manutenzione e pulizia dell'imbuto di raccolta delle acque meteoriche, poiché sono facilmente intasabili a causa di deposizione di corpi estranei.

In zone di alta quota dove le precipitazioni invernali possono essere di tipo nevoso per lungo tempo, i sistemi acquiferi vengono alimentati prevalentemente dalla fusione del manto nevoso. I tradizionali pluviometri, dotati di sistema di riscaldamento per trasformare la precipitazione da solida a liquida, non forniscono un dato utile al confronto con i livelli piezometrici o le portate. La neve infatti si accumula nella stagione invernale e solo con l'aumento delle temperature inizia a fornire un sostanziale apporto liquido per infiltrazione. Sono in questi casi preferibili i **pluvionivometri** interrati (Vigna, 2002) (Figura 15) che registrano in dettaglio gli apporti provenienti dalla fusione del manto nevoso. Nelle zone di alta quota, dove la neve raggiunge spessori elevati, si osserva nonostante il notevole abbassamento dell'altezza della copertura nevosa, dovuta a fenomeni di compattazione e sublimazione, una totale assenza di infiltrazione anche per lunghi periodi. Solo quando le temperature dell'intero ammasso nevoso superano 0.01°C , il manto nevoso comincia a fondere in quantità strettamente legate alle variazioni termometriche giornaliere.

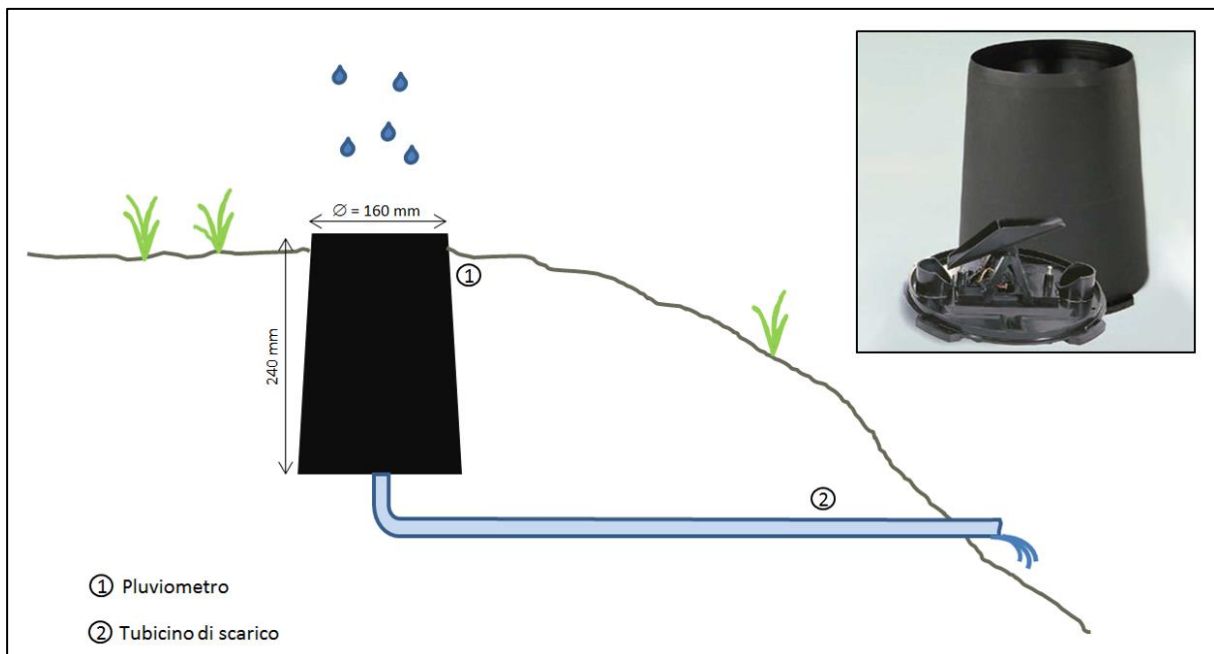


Figura 15: Schema e fotografia di un pluvionivometro interrato

I grafici di Figura 16 mostrano un confronto tra la portata di una sorgente e i valori registrati da un pluviometro riscaldato e da un pluvionivometro interrato: risulta evidente come il contributo registrato dal pluviometro riscaldato sia falsato a livello temporale dalla fusione artificiale della neve dovuta al riscaldatore mentre nel pluvionivometro interrato gli apporti registrati alla sorgente sono quelli dovuti all'effettiva fusione nivale legata al naturale innalzamento della temperatura dell'aria.

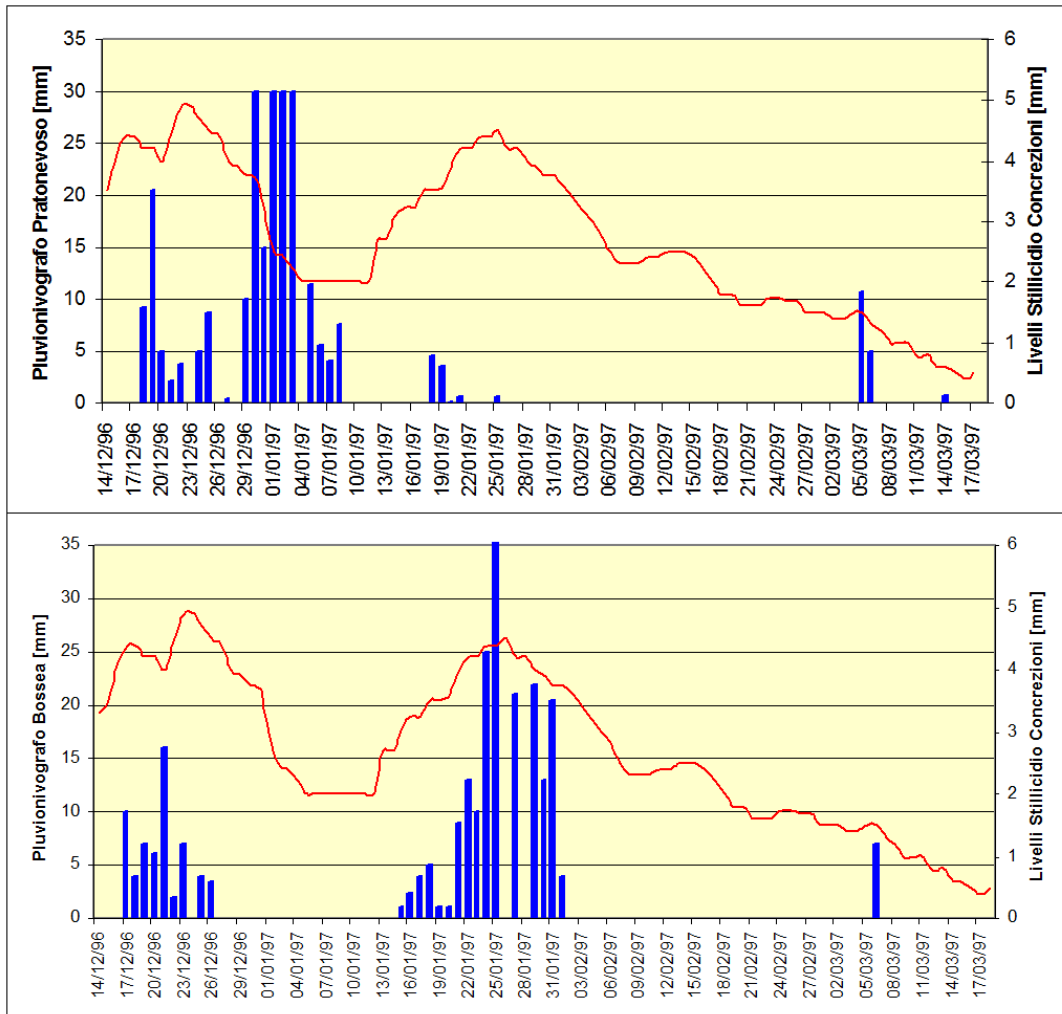


Figura 16: Confronto tra la portata di una sorgente e i valori registrati da un pluviometro riscaldato e da un pluviometro interrato

6.2.4. LA RISOLUZIONE STRUMENTALE

In campo idrogeologico riveste una grande importanza il concetto di risoluzione strumentale, ovvero la capacità di uno strumento di rilevare piccole variazioni della grandezza fisica misurata. La risoluzione definisce anche il valore numerico che esprime quantitativamente questa capacità. La risoluzione, dunque, costituisce il limite inferiore al quale ha ancora senso definire un valore di lettura.

Nella scelta di uno strumento di misura per l'esecuzione di un monitoraggio tale caratteristica risulta più importante persino rispetto alla precisione strumentale. Nello studio degli acquiferi infatti è più significativa la conoscenza delle variazioni di un parametro misurato rispetto alla precisione assoluta del dato stesso.

La risoluzione diventa fondamentale ad esempio negli strumenti di temperatura e pH, parametri che generalmente, non subiscono variazioni apprezzabili alla prima cifra decimale.

6.2.5. INSTALLAZIONE DEGLI STRUMENTI

Per la messa in opera di un sistema di monitoraggio acquista una importanza basilare la corretta installazione e gestione degli strumenti automatici di misura.

L'acquisitore (quando è separato dalla sonda) deve invece essere installato in un luogo sicuro e asciutto al di fuori della portata di piena. Lo stesso vale per le batterie, quando esterne allo strumento, e al cavo di scarico dati, nel caso in cui acquisitore e sonda si trovino all'interno dello stesso involucro.

La frequenza di acquisizione viene programmata al momento dell'installazione dello strumento, mediante un computer, e può variare tra qualche decina di secondi e qualche ora. L'intervallo di acquisizione influenza ovviamente la durata massima di funzionamento dello strumento in quanto una maggiore frequenza determina un consumo maggiore di batteria. La scelta dell'intervallo di misura dipende dalla risposta del sistema acquifero agli input meteorici, che può andare da pochi minuti a svariati giorni o mesi.

Terminato il periodo di acquisizione, i dati registrati vengono scaricati mediante un computer portatile. Il periodo varia notevolmente in funzione del luogo di installazione, nonché del tipo di strumentazione adoperata. Alcuni acquisitori con batteria esterna al piombo, necessitano di una sostituzione della stessa ogni 3-4 mesi, tenendo conto che, con l'invecchiamento della batteria, il periodo di carica della stessa tende a diminuire e le sostituzioni a infittirsi. Anche nei casi in cui le batterie hanno vita maggiore, conviene comunque un controllo degli strumenti almeno due volte l'anno per evitare mal funzionamenti dovuti ai più diversi motivi.

La taratura deve essere eseguita ogni qualvolta ci si rechi sul luogo di installazione, anche se le strumentazioni sono dotate di sensori che, sulla base delle caratteristiche tecniche indicate dalle case costruttrici, dovrebbero dare derive solo in tempi molto lunghi. In ogni caso è sempre consigliabile verificare in loco l'attendibilità dei dati acquisiti utilizzando dispositivi manuali portatili debitamente tarati e precisi. E' stato infatti osservato che diverse apparecchiature, dopo alcuni anni di funzionamento ininterrotto, presentano sensibili derive del valore della conducibilità elettrica specifica e dei livelli idrici (Figura 17 e Figura 18). Negli esempi riportati è stato infatti verificato un abbassamento di circa 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ per la Sorgente Dragonera, di 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ per la Sorgente Fuse e di poco più di 10 l/s per la Sorgente Borello inferiore.

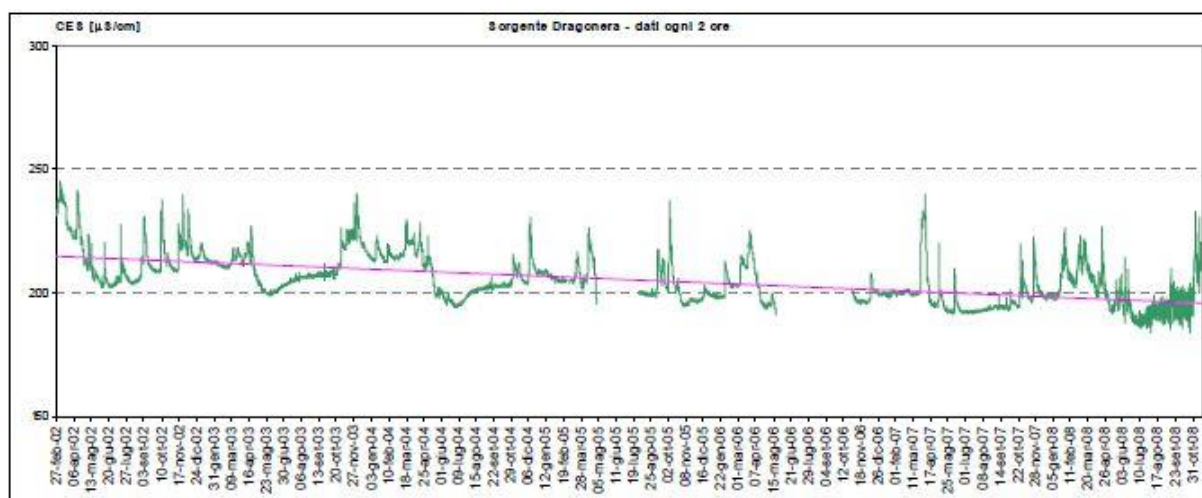


Figura 17: Esempio di deriva strumentale del parametro CE – Sorgente Dragonera (Banzato, 2009)

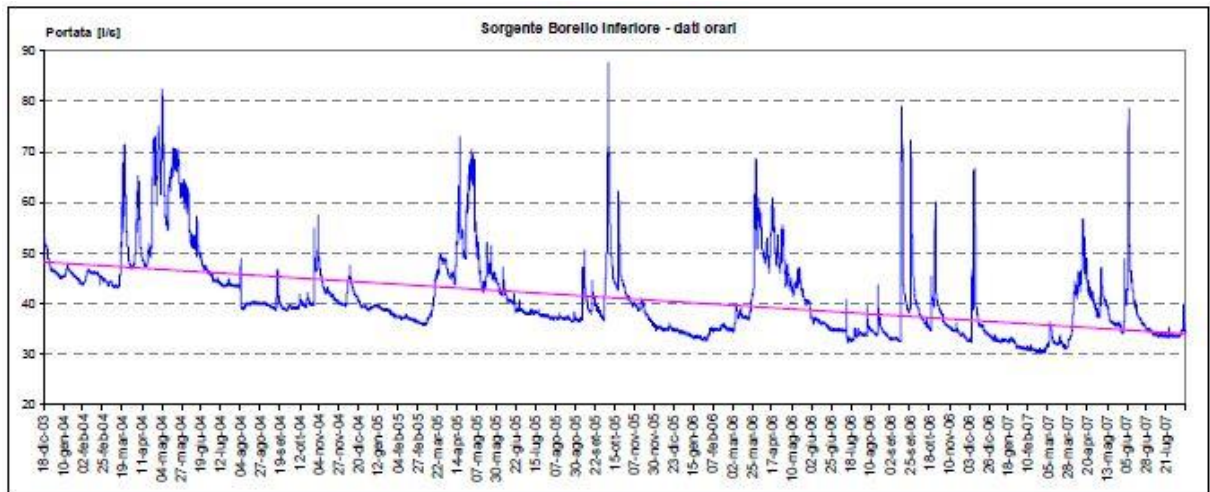


Figura 18: Esempio di deriva strumentale del parametro portata – Sorgente Borello inferiore (Banzato, 2009)

Gli errori cui si può andare incontro durante l’installazione dello strumento, possono essere i più svariati, cui si sommano gli errori che sorgono durante il monitoraggio stesso. I principali errori di installazione degli strumenti si verificano presso le sorgenti e in “luoghi aperti” piuttosto che all’interno di piezometri o pozzi; in questi ultimi bisognerà prestare soprattutto attenzione al massimo carico idraulico che lo strumento è in grado di registrare tenendo conto delle variazioni di livello.

Nelle sorgenti captate le sonde multiparametriche devono essere posizionate a monte della bocca a stramazzo, all’interno di una vasca o bacino di calma dove le acque sorgive hanno modo di rallentare il proprio flusso. Non è quindi consigliabile installare la sonda in prossimità della tubazione che convoglia l’acqua nella vasca di calma, poiché lo strumento così posizionato registrerà ogni singola variazione del livello dell’acqua dovuta al moto turbolento. Tali oscillazioni non indicano quindi variazioni influenzate da fluttuazioni reali della portata sorgiva, bensì variazioni dovute all’errato allestimento della stazione di misura, presentando quindi una variabilità del tutto casuale non facilmente filtrabile durante la fase di elaborazione dei dati.

Molta attenzione va prestata inoltre alla struttura del bottino, alla disposizione e all’altezza delle vasche che lo compongono, nonché alla posizione dei tubi di troppo pieno o di altri tubi in uscita ed entrata nelle vasche in relazione a soglie, gradini e stramazzi.

La vasca oltre la quale viene installato l’acquisitore deve essere posizionata ad un livello decisamente inferiore rispetto alla vasca precedente in modo da evitare eventuali reflussi durante le fasi di piena. Sempre per lo stesso motivo, lo spazio che segue lo stramazzo non deve essere troppo limitato. Situazioni di reflusso possono verificarsi anche in presenza di tubazioni in ingresso poste in prossimità dello stramazzo, soprattutto quando la differenza tra i livelli delle due vasche è minima.

Le tubazioni di troppo pieno se installate ad altezze prossime a quelle di stramazzo, in periodi di piena, possono influenzare notevolmente il livello idrico registrato dallo strumento mantenendolo costante fino al raggiungimento di un deflusso normale.

Le installazioni delle sonde **in luoghi aperti** devono essere studiate attentamente soprattutto per quanto riguarda la registrazione delle temperature dell’acqua sorgiva, anche se non mancano problemi legati alla misura dei livelli idrici. La presenza di muschio o alghe in prossimità o sulla soglia dello stramazzo, ad esempio, può aumentare l’altezza della soglia e variare i livelli idrici misurati dalla

strumentazione installata a monte dello stesso. In questo caso il problema è di facile risoluzione in quanto basta asportare la vegetazione cresciuta, in modo da ripristinare i livelli reali.

Come già descritto il parametro temperatura è estremamente variabile in quanto facilmente influenzato dalla temperatura dell'aria. La sonda deve quindi essere installata esattamente nel luogo in cui l'acqua viene a giorno e nello stesso tempo deve essere riparata dai raggi solari in modo tale da non essere riscaldata dall'insolazione diretta, ad esempio ponendola al riparo di una parete rocciosa o di vegetazione o costruendo una difesa ad hoc. In alcuni casi, la sola esposizione del cavo (generalmente nero) collegato tra sonda e acquisitore automatico può provocare leggere variazioni di temperatura nelle registrazioni.

6.3. AGGRESSIVITÀ DELLE ACQUE

Un aspetto rilevante dello studio dell'interferenza tra le opere in sotterraneo e gli acquiferi è l'interazione chimica tra le acque di falde e i materiali utilizzati per la costruzione.

Tale interazione determina conseguenze negative sull'opera nel caso in cui l'acqua presenti caratteristiche di aggressività chimica, cioè abbia la tendenza ad attaccare e solubilizzare alcuni minerali contenuti in rocce, terreni e in particolare materiali edili.

Il comportamento chimico delle acque può costituire un problema per le opere e i materiali che ne vengono a contatto. Acque definite incrostanti sono sovrasature di carbonato di calcio e tendono a lasciare precipitare il carbonato di calcio formando incrostazioni: queste rappresentano un problema legato alla loro movimentazione (incrostazione delle condotte, ecc.). Le acque definite aggressive, invece, tendono a sciogliere i materiali calcarei con cui vengono a contatto e sono generalmente sottosature di carbonato di calcio.

Nella tabella seguente si riportano i fattori, sia chimici che fisici, che influenzano l'aggressività delle acque (Fiorucci).

Fattori fisici	Fattori chimici
Temperatura	Solubilità
Conducibilità elettrica	pH
	Residuo Fisso
	Cloruri
	Solfati
	Alcalinità
	Durezza
	CO ₂ libera

L'aggressività delle acque dipende dall'azione dell'anidride carbonica disciolta in essa.

Parte dell'anidride carbonica in acqua è presente sotto forma di acido carbonico (H_2CO_3), che determina la solubilizzazione di carbonati di calcio e di magnesio.

La reazione tra il carbonato di calcio, ad esempio, e l'acido carbonico è una reazione di equilibrio dinamico ed è influenzata dalla concentrazione di anidride carbonica nell'acqua.

A seconda dell'analisi chimica, della mineralizzazione, del pH e della temperatura dell'acqua, possono presentarsi tre casi:

- acqua satura di CO_2 : l'equilibrio della reazione non si sposta, si ha un'acqua indifferente cioè in equilibrio calciocarbonatico che non provoca, ad una data temperatura, né attacco né precipitazione di carbonato di calcio
- acqua sovrasatura di CO_2 : l'equilibrio della reazione si sposta verso destra, si ha un'acqua aggressiva che può attaccare certi materiali edili, quali le malte, portando in soluzione il carbonato di calcio in esse contenuto (in talune circostanze causando un sensibile degrado del materiale stesso) o anche rocce carbonatiche (carsismo) nel caso di acque sotterranee.
- acqua sottosatura di CO_2 : l'equilibrio della reazione si sposta verso sinistra, si ha un'acqua incrostante cioè con tendenza a formare depositi e incrostazioni di sali di calcio sulle pareti di condotte, contenitori, caldaie, ecc. Se l'incrostazione è imponente, può arrivare a creare - nel caso di acquedotti - seri problemi di ostruzione delle tubazioni.

6.3.1. METODI PER LA DETERMINAZIONE DELL'AGGRESSIVITÀ DELLE ACQUE

Esistono numerosi metodi per determinare l'aggressività di un'acqua. Tra questi verranno di seguito illustrati quelli generalmente più utilizzati, ovvero:

- Metodo del pH;
- Prova del marmo.

Metodi basati sulla determinazione del pH

Esistono diversi metodi ed indici che si basano sul pH dell'acqua da analizzare. Di seguito ne verranno descritti tre.

Per la previsione dell'aggressività di un'acqua (o il suo potere incrostante) si ricorre alla determinazione del pH di saturazione, pHS, definito come il pH di equilibrio, a cui non si ha né dissoluzione né precipitazione di carbonato di calcio (Langelier, 1936).

Sul pH di saturazione del carbonato di calcio si basa l'**indice di Langelier**, o di saturazione, I.S., definito come differenza tra il pH attuale dell'acqua in esame e il pH di saturazione:

$$IS = pH - pHS$$

In funzione del valore dell'indice di Langelier si determina il comportamento dell'acqua:

- Se $IS > 0$, l'acqua tende a depositare $CaCO_3$ ed è quindi definita incrostante;
- Se $IS < 0$ l'acqua tende a sciogliere $CaCO_3$ ed è quindi definita aggressiva;
- Se $IS = 0$ l'acqua è in equilibrio e quindi non depositerà né scioglierà $CaCO_3$.

Il pH di saturazione, che dipende anche dalla temperatura dell'acqua, può essere determinato facendo ricorso al normogramma di Langelier e applicando la formula:

$$pH_s = pCa + pAlk + C$$

dove il termine C è il fattore dipendente dalla temperatura.

I tre addendi si calcolano sul normogramma partendo dai valori del contenuto di Ca, dell'Alcalinità e della temperatura.

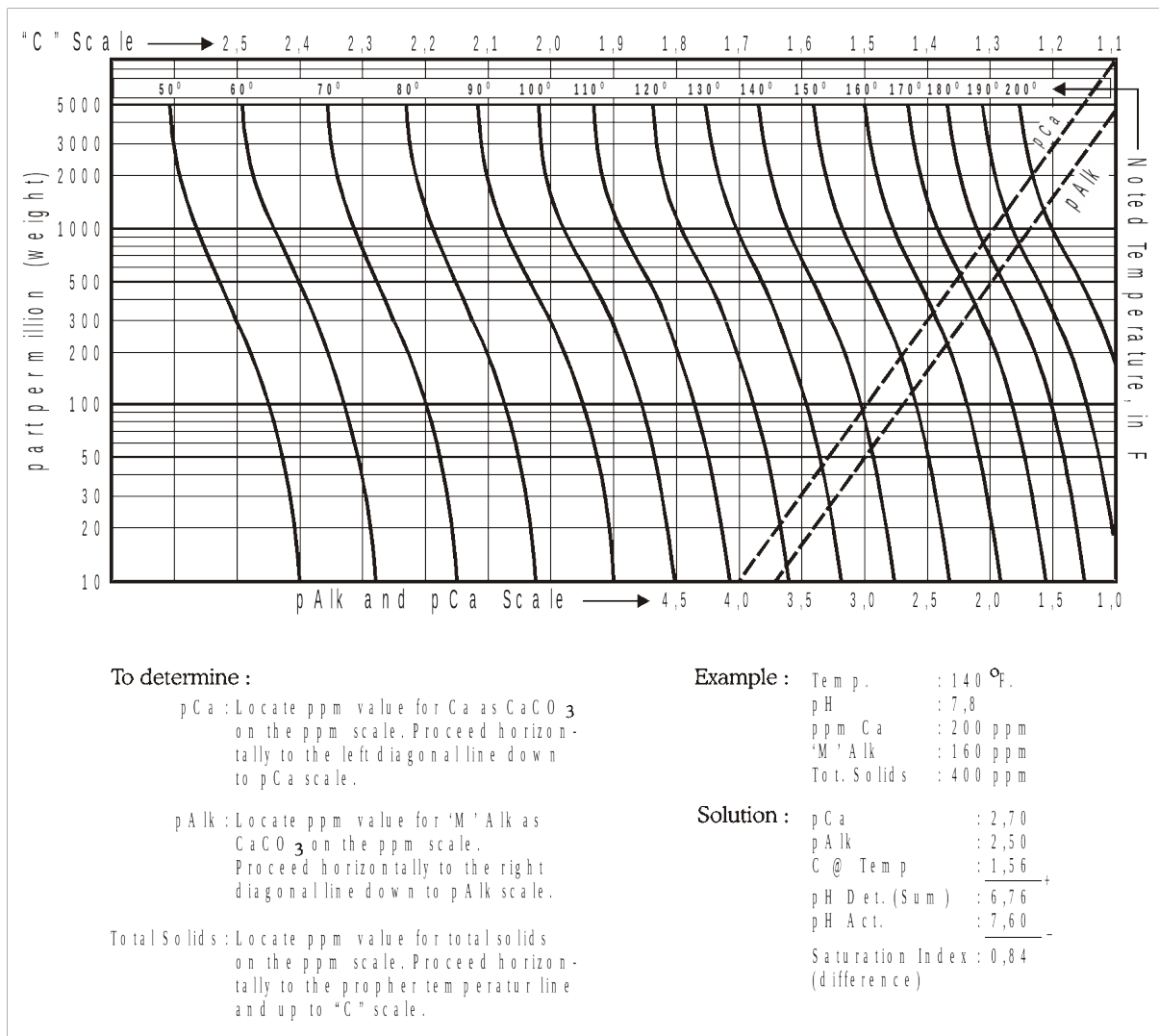


Figura 19: normogramma di Langelier

L'indice di Langelier può anche essere determinato con normogramma di Hoover-Langelier, una volta noti residuo secco (ppm), contenuto di calcio (ppm), alcalinità totale TAC (ppm di $CaCO_3$) e temperatura (°C).

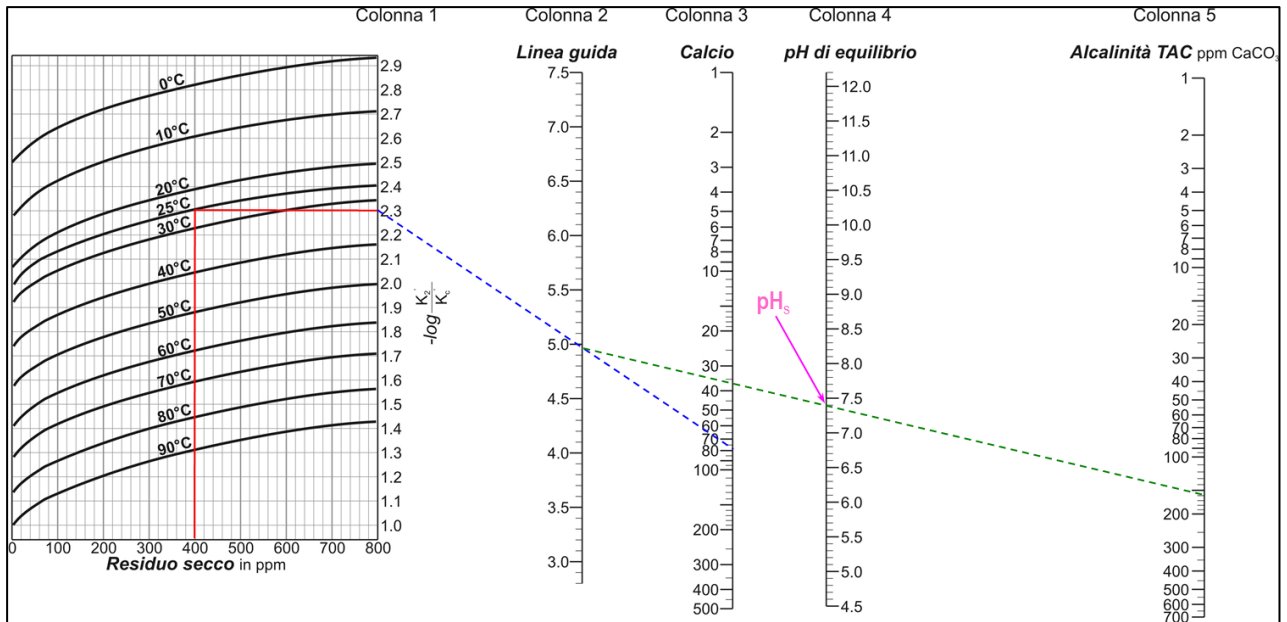


Figura 20: normogramma di Hoover-Langelier

L'indice di Langerier non è in grado di fornire indicazioni circa la velocità e l'effettiva capacità della precipitazione di formare uno strato protettivo.

L'indice di Ryznar (Tabella 6), invece, può essere utilizzato a tale scopo.

Esso, è detto anche indice di stabilità ed è dato dalla formula:

$$IR = 2pH_s - pH$$

Questo indice è sempre positivo e in base al suo valore si determino le caratteristiche dell'acqua.

Tabella 6: Indice di Ryznar

Indice di Ryznar	Caratteristica dell'acqua
4 ÷ 5	Molto incrostante
5 ÷ 6	Incrostante
6 ÷ 7	Debolmente incrostante o aggressiva
7 ÷ 8	Aggressiva
8 ÷ 9	Molto aggressiva
> 9	Estremamente aggressiva

Si cita infine l'indice di aggressività elaborato dall'AWWA (American Water Works Association), valido entro l'intervallo di temperatura 4,5-26,5°C e dato dalla formula:

$$I.A. = pH + \log_{10} (A \times H)$$

dove:

A = alcalinità totale (mg/l di CaCO₃)

H = durezza Calcica (mg/l di CaCO₃)

L'acqua risulta tanto più aggressiva quanto più basso il valore dell'indice di aggressività.

Il criterio di interpretazione è il seguente:

- $IA < 10$: acqua aggressiva
- $10 < IA < 12$: acqua poco aggressiva
- $IA > 12$: acqua non aggressiva

Prova del marmo

La prova del marmo costituisce un metodo sperimentale per la valutazione dell'aggressività di un'acqua.

La prova consiste nel confronto tra i valori di alcalinità e di pH del campione d'acqua prima e dopo averlo messo a contatto con polvere di marmo per 48 ore.

Il criterio di interpretazione è il seguente:

- Se $pH_s > pH_0$ e $As > A_0$ l'acqua è aggressiva
- Se $pH_s = pH_0$ e $As = A_0$ l'acqua è in equilibrio
- Se $pH_s < pH_0$ e $As < A_0$ l'acqua è incrostante

Dove:

- pH_0 è il pH del campione prima della prova
- pH_s è il pH del campione messo a contatto con la polvere di marmo
- A_0 è l'alcalinità del campione prima della prova
- As è l'alcalinità del campione messo a contatto con la polvere di marmo

6.3.2. RIFERIMENTI NORMATIVI

La norma **UNI EN 206-1:2006**, riguardante le specifiche e la conformità del calcestruzzo, classifica gli ambienti chimicamente aggressivi secondo quanto riportato nella Tabella 7.

Tabella 7: classificazione degli ambienti chimicamente aggressivi secondo la Norma UNI EN 206-1:2006

Classe	Parametri					Ambiente chimico
	SO_4^{2-} [mg/l]	pH	CO_2 [mg/l]	NH_4^+ [mg/l]	Mg^{2+} [mg/l]	
XA1	≤ 600	≥ 5.5	≤ 40	≤ 30	≤ 1000	Debolmente aggressivo
XA2	> 600	< 5.5	> 40	> 30	> 1000	Moderatamente aggressivo
	≤ 3000	≥ 4.5	≤ 100	≤ 60	≤ 3000	
XA3	> 3000	< 4.5	> 100	> 60	> 3000	Fortemente aggressivo

Esistono inoltre le Linee guida emanate dal Ministero dei lavori pubblici che propongono una classificazione analoga, riportata in Tabella 8.

Tabella 8: Classificazione del grado di attacco proposta dal Ministero dei lavori pubblici

Parametri					Grado di attacco
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	pH	CO ₂ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	
≤ 200	≥ 6.5	≤ 15	≤ 15	≤ 100	Nullo
> 200 ≤ 600	< 6.5 ≥ 5.5	> 15 ≤ 30	> 15 ≤ 30	> 100 ≤ 300	Debole
> 600 ≤ 3000	< 5.5 ≥ 4.5	> 30 ≤ 60	> 30 ≤ 60	> 300 ≤ 1500	Moderato
> 3000 ≤ 6000	< 4.5 ≥ 4.0	> 60 ≤ 100	> 60 ≤ 100	> 1500 ≤ 3000	Alto
> 6000	< 4.0	> 100	> 100	> 3000	Molto Alto

6.3.3. ATTACCO SOLFATICO

Tra tutti gli agenti aggressivi del calcestruzzo i solfati sono indubbiamente i più importanti sia per la frequenza con cui si può manifestare l'attacco solfatico, sia per le conseguenze estremamente negative che essi sono capaci di provocare.

Il calcestruzzo immerso in acque solfatice subisce un rigonfiamento notevole e con conseguenti fessurazioni e distacchi nel materiale. Tale fenomeno non si verifica in modo omogeneo su tutta la struttura in calcestruzzo ma soprattutto nelle zone corticali a contatto con l'acqua solfatica (Collepari, Ogoumah Olagot, Simonelli, & Troli).

Le principali reazioni che portano al degrado del calcestruzzo sono tre: una porta alla formazione di gesso bi-idrato (CaSO₄ · 2H₂O), una provoca la formazione di ettringite (3CaO · Al₂O₃ · 32H₂O) e una produce thaumasite (CaCO₃ · CaSO₄ · CaSiO₃ · 15H₂O). In Figura 21 è possibile vedere gli effetti di tali reazioni.



Figura 21: distruzione progressiva di un provino di conglomerato cementizio immerso in un ambiente solfatico. Nel centro il provino si è deformato per formazione di ettringite, destra il provino si è disgregato per formazione di thaumasite

6.4. IL RADON NELLE ACQUE

Nello scavo e, in generale, nella realizzazione di opere sotterranee un problema ancora poco conosciuto è l'interferenza con il Radon presente in ambiente.

Il trasferimento di tale gas dalla componente suolo e dalla componente acqua all'aria può costituire un notevole problema negli ambienti chiusi quali le opere in sotterraneo (cave, tunnel, ecc.): dal 1988 il Radon è classificato nel gruppo 1 degli agenti cancerogeni per l'uomo dall'Organizzazione Mondiale della Sanità. Tale gas, infatti, aumenta notevolmente il rischio di tumore polmonare.

L'elevata concentrazione di Radon in aria in ambienti chiusi come quelli sotterranei comporta una serie di provvedimenti per la salvaguardia della sicurezza degli operatori. Tali interventi generalmente prevedono la riduzione della durata dei turni di lavoro e una maggiore areazione degli ambienti. Il Decreto Legislativo 241/00 fissa un livello d'azione di 500 Bq/m^3 per la concentrazione di attività media annua di radon: al superamento di tale media annua è richiesta un'azione di rimedio.

Nel caso in cui la presenza di Radon non sia stata adeguatamente studiata e prevista in fase ante operam, l'adeguamento del sistema di ventilazione in corso d'opera può costituire un inconveniente notevole.

6.4.1.RN-222

Il radon è un gas radioattivo presente in natura, chimicamente inerte, inodore, incolore e privo di sapore. E' prodotto dal radio nella catena di decadimento dell'uranio, elemento presente in quantità variabili in tutte le rocce e nel suolo.

La Figura 22 riporta i livelli registrati nelle costruzioni del territorio nazionale.

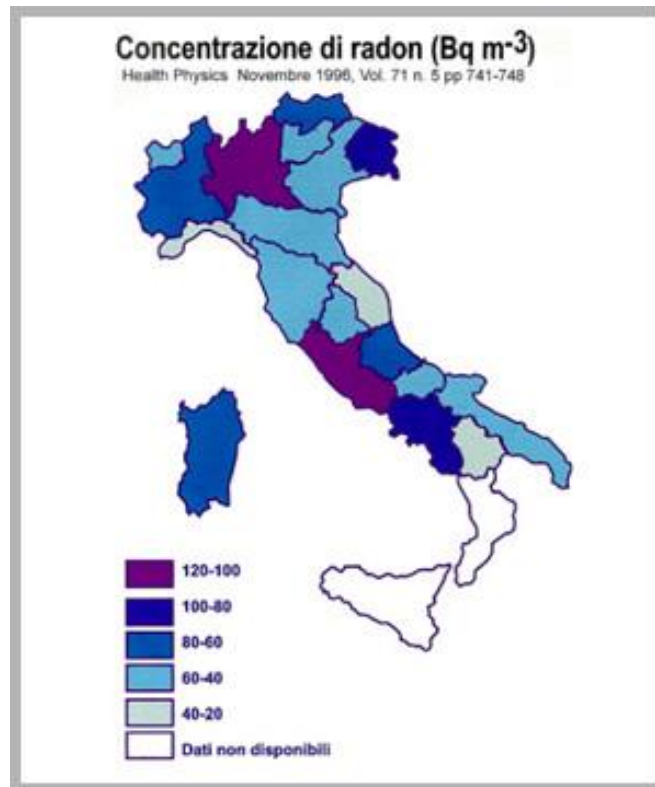


Figura 22: livelli registrati nelle costruzioni del territorio nazionale (Fonte: www.nonsoloaria.com)

Esistono in tutto 26 isotopi del radon compresi tra il Rn -199 e il Rn-226. Solo tre di questi si riscontrano in natura:

- Il Radon (Rn-222) che deriva dal decadimento dell'uranio U-238;
- L'attinon (Rn-219) che deriva dal decadimento dell'uranio U-235;
- Il Toron (Rn-220) che deriva dal decadimento del torio Th-232.

Il Radon 222 è il più importante tra quelli elencati in quanto ha una vita molto lunga, pari a 3,8 giorni e quindi può essere inalato e depositato, aiutato dalle polveri sospese, sui tessuti bronchiali e polmonari (Fiaschetti, et al.).

Le principali sorgenti del radon sono:

- Il suolo: è molto presente nelle rocce di origine vulcanica ma si trova anche nelle rocce sedimentarie;
- I materiali da costruzione: materiali da costruzioni ricavati da rocce di origine vulcanica (es. tufi, graniti, ecc)
- L'acqua: sotto forma di gas disciolto può essere presente nelle acque circolanti in acquiferi costituiti da rocce vulcaniche

Il Radon, essendo solubile in acqua, può essere presente negli acquiferi: l'acqua infatti costituisce un veicolo efficace per il trasporto del radon dagli strati più profondi alla superficie e a grande distanze dal luogo di formazione. La solubilità del radon in acqua decresce all'aumentare della temperatura.

6.4.2. MISURAZIONE DEL RADON

Gli strumenti per la misura del Radon in aria si dividono in strumenti che effettuano misurazioni attive e misurazioni passive.

I rilevatori passivi non si alimentano elettricamente e sono:

- Rivelazione delle tracce alfa con dosimetri:
sono misuratori di tracce alfa che registrano il contenuto di radioattività alfa presente in locali, stanze, ambienti, pozzi e costruzioni di ogni genere.
- Adsorbimento su canestri a carboni attivi:
assorbimento con canestri di carbone attivo: i carboni vengono quindi analizzati in spettrometria gamma con rivelatore a scintillazione (cristalli NaI), ottenendo un risultato di concentrazione, anche per valori < 20 Bq/mc; i campionatori sono spesso influenzati dalle condizioni ambientali (Temperatura e umidità).
- Rivelazione di carica elettrica mediante elettrete:
Sono basati su una resina di derivazione ottica denominata Columbia Resins 39, dotati di un codice di identificazione e sono trattati in modo antistatico dal produttore. La camera di diffusione e filtro è un contenitore di plastica di dimensioni 4.5 cm x 2.5 cm. Il contenitore ha forma cilindrica e possiede un tappo di chiusura; la fessura esistente tra tappo e contenitore (20 -- 30 micrometri) è tale per cui è possibile l'ingresso, al suo interno, del solo gas radon.

I rilevatori attivi sono costituiti da strumenti dotati di un particolare sensore Geiger sensibile prevalentemente alla radiazione alfa. I risultati sono più attendibili ma il costo per l'analisi è più elevato. Vanno usati per determinazioni accurate in genere laddove i rilevatori passivi hanno determinato concentrazioni preoccupanti di Radon. Esistono analizzatori che individuano, sulla base delle energie rilasciate durante il processo di decadimento, la presenza dei prodotti del decadimento stesso (metalli pesanti).

Il problema della presenza di Radon nelle acque e la sua interferenza con le opere antropiche, in particolare quelle sotterranee, sta diventando negli ultimi anni oggetto di maggiori attenzioni. Presso la stazione scientifica del laboratorio all'interno delle grotte di Bossea, recentemente, è stato installato, uno strumento sperimentale per la misurazione e lo studio delle variazioni del radon nelle acque. I dati provenienti da tale strumento vengono raffrontati con dati misurati manualmente. Quello che emerge dallo studio è una forte variazione dei valori di radon nelle acque legata alla variazione della portata (Figura 23).

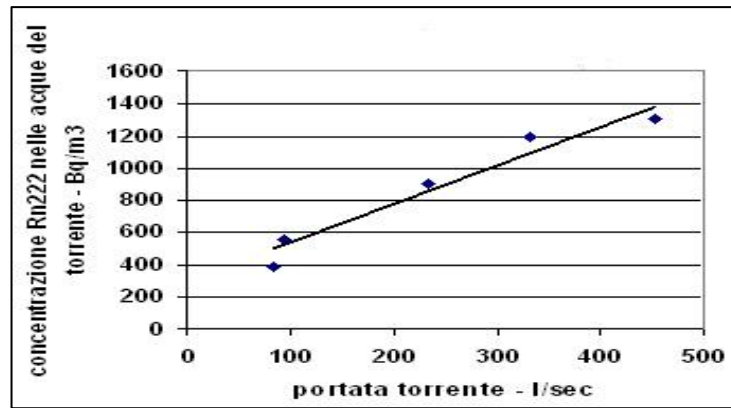


Figura 23: Correlazione portata torrente- concentrazione radon nell'acqua

Anche nel caso studio di Moncalvo (cfr. Paragrafo 8.1) si riporterà un breve accenno a tale problematica.

6.5. TEST CON TRACCIANTI

Questo tipo di test si basa sull'immissione in un acquifero di sostanze normalmente non presenti nelle sue acque: il transito della sostanza tracciante attraverso il sistema produce una risposta, modulata dal funzionamento dell'acquifero, per cui l'analisi delle modalità di restituzione della sostanza immessa permette di ricavare importanti informazioni indirette sull'organizzazione della rete di drenaggio, sull'eventuale grado di carsificazione dell'acquifero e sul funzionamento idrodinamico. Inoltre, come già accennato nella premessa al capitolo, i test con traccianti sono forse l'unico strumento in grado di evidenziare, con un buon margine di sicurezza, collegamenti tra le acque superficiali e quelle sotterranee incontrate durante lo scavo.

I test possono prevedere un'analisi qualitativa, rilevando sono la presenza o l'assenza della sostanza tracciante, oppure possono essere seguiti da analisi quantitative, con studio della curva di restituzione del tracciante. Nel caso di analisi quantitative, è indispensabile correlare le curve di restituzione dei traccianti con idrogrammi delle stesse sorgenti nello stesso intervallo di tempo, e conoscere le curve di alimentazione (portate entranti) del sistema.

Le caratteristiche di un tracciante ideale sono:

- altissima solubilità in acqua e in tempi molto brevi, per poter considerare l'immissione istantanea;
- essere chimicamente neutro (non deve subire adsorbimento o altre reazioni chimiche che ne diminuiscano la concentrazione) e stabile nel tempo ed essere attivo per un vasto range di pH;
- essere fisicamente neutro (non separarsi per gravità - non rimanere intrappolato nei pori della matrice litologica);
- muoversi alla stessa velocità dell'acqua;

- non modificare le caratteristiche dinamiche dell'acqua (viscosità o densità);
- possedere un limite di rilevabilità molto basso;
- essere facilmente analizzabile con metodi rapidi e poco costosi;
- non deve essere già presente nel sistema (traccianti artificiali);
- non deve essere tossico alle concentrazioni utilizzate e non deve modificare le caratteristiche organolettiche delle acque potabili

Esistono diverse tipologie di traccianti la cui scelta, nelle applicazioni pratiche, deve essere basata sullo scopo dello studio, sulla scala spazio-temporale a cui si deve lavorare e sulle possibilità economiche.

Di seguito vengono riportate le principali tipologie di tracciante disponibili:

- traccianti isotopici;
- traccianti chimici;
- traccianti batterici;
- traccianti fluorescenti.

Traccianti isotopici

I traccianti isotopici sono costituiti da nuclidi radioattivi o in grado di diventarlo durante la fase di analisi.

Secondo *Zuppi* 1988 da un punto di vista strettamente metodologico queste sostanze sono quelle che si avvicinano maggiormente ad un tracciante ideale.

Indubbiamente i traccianti radioattivi presentano rispetto ad altri tipi di traccianti dei notevoli vantaggi (Gaspar, 1987):

- sensibilità di rilevamento molto bassa (es. radionuclidi con un tempo di dimezzamento di 100 giorni possiedono una rilevabilità pari a 10^{-17} g);
- quantità esigue di tracciante da utilizzare;
- completa scomparsa del tracciante dal mezzo indagato;
- possibilità di indagini con multi – traccianti.

E' importante però sottolineare che l'utilizzo di questi tipi di traccianti spesso presenta restrizioni da un punto di vista pratico-normativo e che in ogni caso l'utilizzo di sostanze radioattive comporta anche degli svantaggi considerevoli:

- elevata percezione di rischio da parte della popolazione interessata;
- rischio di contaminazione dell'operatore;
- impossibilità di stoccaggio del tracciante;
- precisione delle misure difficile da ottenere a causa delle fluttuazioni statistiche della radioattività.

Inoltre risulta importante verificare a priori che tali elementi, utilizzati come traccianti, si presentino all'interno del sistema in studio, in quantità trascurabili al fine di evitare possibili errori d'interpretazione dovuti al "rumore" di fondo .

I principali isotopi utilizzati come traccianti sono riportati in Tabella 9:

Tabella 9: Tempi di dimezzamento dei principali traccianti isotopici

Nuclide	Tempo di dimezzamento
Deuterio - ^2H	-----
Trizio - ^3H	12,43 anni
Ossigeno 18 - ^{18}O	-----
Cloro 38 - ^{38}Cl	37 minuti
Bromo 82 - ^{82}Br	35,34 ore
Iodio 131 - ^{131}I	8,05 giorni
Iodio 125 - ^{125}I	70 giorni
Cobalto 58 - ^{58}Co	71 giorni

Esistono poi numerosi traccianti attivabili quali il Bromo, l'Iodio, il Disprosio, il Manganese e il Lantanio.

Traccianti chimici

Questa categoria di traccianti comprende quei composti che, soggetti a ionizzazione in acqua, forniscono specie cationiche o anioniche.

I principali sono il dicromato di sodio, lo iodato di sodio, il cloruro di sodio, il nitrito di sodio, il cloruro di litio, il cloruro di potassio e il solfato di manganese.

Nonostante tali traccianti presentino il vantaggio di non decomporsi e di non disperdersi nel sistema, non risultano essere i traccianti più idonei in quanto possono reagire con il mezzo: gli anioni in presenza di minerali (argilla, sostanze organiche...) e in un ambiente caratterizzato da un valore di pH basso possono dare origine a fenomeni di scambio anionico mentre i cationi attraverso, meccanismi di scambio cationico, si scambiano con altri cationi già presenti in soluzione (sodio, calcio, ecc).

Inoltre numerosi traccianti cationici, essendo già presenti in acqua impongono iniezioni a concentrazioni molto alte che possono avere ricadute negative sulla qualità dell'acqua e sulle biocenosi presenti.

Gaspar 1987 sottolinea le principali cause della scarsa applicazione di tali traccianti:

- difficoltà nel trovare sostanze o composti con una rilevabilità a basse concentrazioni
- inquinamento del mezzo tracciato;
- tossicità;
- modifica delle condizioni idrauliche originali

Infine bisogna evidenziare il fatto che per i traccianti chimici non esistono in commercio delle strumentazioni di acquisizione automatiche che ne consentano il rilevamento in continuo.

Traccianti biologici

La contaminazione microbiologica delle acque superficiali e non, è un problema serio che potrebbe portare alla nascita di epidemie sia tra gli animali sia tra gli esseri umani, per tale motivo i traccianti biologici devono rispettare alcune importanti caratteristiche:

- non devono essere mutageni;
- non devono presentare tossicità in alcun modo;
- devono possedere una vita molto limitata;
- non devono essere già presenti nel mezzo investigato.

I traccianti che, rispettando tali proprietà, ricadono nell'insieme dei traccianti biologici sono i lieviti e le spore.

Le problematiche legate all'utilizzo di queste particelle come traccianti sono sostanzialmente da attribuirsi alla difficoltà di rilevazione: le tecniche di misura infatti, sono basate su un semplice conteggio; nel punto di emergenza le spore vengono raccolte mediante un'ampia rete di plancton che in presenza di fango e melma viene immediatamente ostruita e perde la sua funzione.

Inoltre un altro svantaggio è rappresentato dal fatto che la polvere delle spore è esplosiva e deve quindi essere maneggiata con cura.

Esistono infine altri traccianti biologici di secondaria importanza quali i virus animali, i batteriofagi e la microfauna acquatica.

Traccianti fluorescenti

Tutti i traccianti fluorescenti utilizzati in idrologia e in idrogeologia sono sostanze organiche e la maggior parte derivano dallo xantene.

Le proprietà traccianti sono basate sulla struttura chimica di particolari composti costituita da un gran numero di elementi C, H, O, N e S. Tali proprietà possono cambiare radicalmente o sparire del tutto a seguito di modifiche della struttura chimica delle molecole coloranti o a causa di attacchi chimici.

I traccianti fluorescenti hanno il grande vantaggio di essere rilevabili in situ anche a piccole concentrazioni pari a 10^{-10} e 10^{-11} e in alcuni casi anche 10^{-12} g/ml.

Un altro notevole pregio dei traccianti fluorescenti è quello di essere economici e assolutamente non tossici (*Gaspar 1987*).

L'utilizzo di queste sostanze è da preferirsi a quello dei radioisotopi in quanto meno complicato e decisamente più economico (*Beherens H.,1986; Leibundgut Ch. et al.,1986*).

La classificazione viene generalmente fatta in funzione del colore (*Smart et al.,1997*):

- traccianti arancione: Rodamina B, Rodamina WT, Sulforodamina B;
- traccianti verdi: Fluoresceina, Lissamina FF, Piranina;
- traccianti blu: Amino G Acido, Fotina CU.

Una particolare categoria di traccianti fluorescenti è quella indicata sotto il nome di candeggianti ottici.

Un certo numero di agenti ottici, infatti, sono utilizzati nei detersivi come sbiancanti. Tali sostanze talvolta vengono anche utilizzate come traccianti; degni di nota in questo senso, sono: la fotina CV, la Fluolite BW, Leucophor BS, Leucophor C, Tinopal ABP e il Tinopal CBS-X.

Questi agenti sbiancanti sono privi di colorazione a bassa concentrazione, se messi in soluzione acquosa.

6.5.1. ESECUZIONE ED INTERPRETAZIONE DEL TEST

L'esecuzione di un test con tracciante fluorescente (Fluoresceina sodica o Tinopal CBS -X) passa attraverso due fasi operative:

- fase preliminare: consiste nella determinazione di un collegamento tra due settori di un sistema acquifero mediante l'immissione del tracciante in un determinato punto d'acqua (in genere un inghiottitoio, un punto di perdita superficiale, una cavità carsica attiva) e la verifica di un collegamento con un altro settore (in genere una sorgente o un piezometro/pozzo). In questa prima fase vengono in genere collocati i fluocaptorini nei diversi punti di restituzione della zona;

I fluocaptorini (Figura 24) detti anche semplicemente captori, sono piccoli contenitori costituiti da una rete molto permeabile al cui interno viene posizionato del carbone attivo in granuli (se si utilizza la Fluoresceina sodica) o della garza sterile (se si utilizza il Tinopal CBS-X)

- fase di dettaglio: si basa sull'esame della curva di restituzione derivante da test eseguiti, a mezzo di acquisitori automatici, nei punti di immissione ritenuti più rappresentativi del sistema in esame.



Figura 24: Captori contenenti carbone attivo e garza sterile

La fase preliminare del test con tracciante prevede:

- l'individuazione del punto di immissione e del/i punto/i di restituzione
- l'ubicazione dei captori
- l'immissione del tracciante
- il prelievo e l'analisi dei captori

Una volta individuati i punti di immissione e restituzione sulla base dello studio pregresso del sistema acquifero (studio delle carte geologiche e idrogeologiche, rilievi sul campo, ecc) occorrono alcune precauzioni nella posa dei fluocaptori, in particolare per quanto riguarda la scelta del punto dove posizionarli.

Innanzitutto, si deve utilizzare un certo numero di captori (almeno 3-4 per ogni punto di rilevazione), per evitare che il test fallisca perchè i captori sono andati persi, asportati o trascinati via dalla corrente.

Poichè i traccianti fluorescenti sono fotosensibili occorre posizionare i captori in un luogo riparato dalla luce, in un punto non visibile o facilmente accessibile e, nel caso dell'ubicazione presso un'emergenza, deve essere riparato dalla corrente più forte.

I captori in situ vengono successivamente raccolti ad intervalli di tempo prefissati, sostituiti con nuovi captori e conservati in contenitori impermeabili fino alla loro analisi. Le sostanze trattenute dal carbone attivo vengono estratte mediante una soluzione di potassa alcolica (idrossido di potassio con alcool etilico al 10%) e successivamente analizzate mediante lampada di Wood. I captori realizzati con la garza sterile possono essere esaminati direttamente con l'ausilio della lampada o con luce a LED bianca in quanto non è possibile da essi estrarre alcuna soluzione.

L'esame della soluzione viene effettuato confrontando il campione con un bianco di riferimento e può essere eseguito secondo diverse modalità:

- visivamente con illuminazione laterale mediante luce a led;
- visivamente con l'ausilio di una lampada di Wood
- con l'ausilio di un fluorimetro

Al termine di questa fase preliminare saranno note, dunque, le connessioni tra i punti esaminati. Tale dato, nell'ambito dello studio di un acquifero e delle sue interferenze con un'opera sotterranea, risulta di estrema importanza: si pensi, ad esempio, alle eventuali connessioni tra un corpo idrico superficiale, interessato da un'opera sotterranea, e le sorgenti idrocaptate ubicate nelle zone limitrofe o allo studio delle interferenze tra un campo pozzi e un sistema acquifero.

La fase di dettaglio del test prevede:

- ubicazione del fluorimetro da campo
- immissione del tracciante
- interpretazione della curva di restituzione

Il fluorimetro da campo deve essere ubicato nel punto o nei punti risultati positivi durante la fase preliminare. Tale strumento, dotato di datalogger, è in grado di misurare la concentrazione di tracciante a intervalli di tempo prefissati per periodi relativamente lunghi (20 gg).

Grazie a tale strumentazione è possibile ottenere delle curve di restituzione o di breakthrough (Figura 25) molto dettagliate. Analizzando la curva di restituzione (forma della curva, tempi di primo arrivo e di picco massimo, concentrazione massima) è possibile individuare, con una certa sicurezza, la tipologia di circolazione che caratterizza il nostro acquifero:

- circolazione prevalentemente impostata in una rete a dreno dominante
- circolazione prevalentemente impostata in dreni interconnessi
- circolazione dispersiva

I *valori di tempo* significativi nell'analisi della curva di restituzione sono:

- t_0 : tempo di inizio del tracciamento, ovvero il momento in cui avviene l'immissione del tracciante nel corso d'acqua analizzato;
- t_1 : tempo di primo arrivo del tracciante, quando la curva di restituzione inizia il suo incremento, indicando l'aumento di concentrazione di tracciante rilevato.
- t_m : tempo modale, corrispondente al tempo di massima concentrazione del tracciante restituito (C_{max});
- t_2 : tempo di fine restituzione, ovvero il momento in cui la concentrazione di tracciante tende a tornare ai livelli indisturbati precedenti il tracciamento. E' meno facile da individuare rispetto agli altri tempi perché la curva di decremento solitamente ha una durata maggiore e un decremento più dolce.

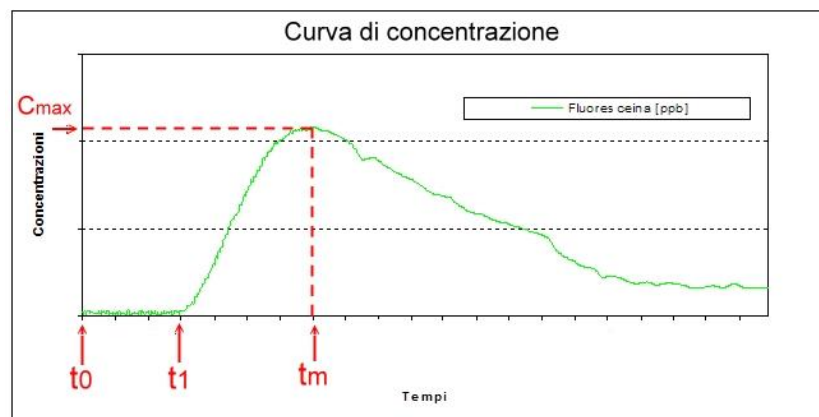


Figura 25: Parametri significativi di una curva di concentrazione

L'analisi dei valori temporali fornisce un'indicazione sui *valori di velocità* del flusso sotterraneo (Lepiller e Modain, 1986)

- v_{max} : la velocità massima corrisponde alla velocità di arrivo delle prime particelle di tracciante rilevabile e si calcola semplicemente attraverso la formula:

$$v_{max} = \frac{l}{t_1 - t_0}$$

dove l è la distanza in linea d'aria tra il punto d'immissione del tracciante e il punto di misurazione della concentrazione restituita (sorgente);

- v_m : la velocità modale rappresenta la velocità di arrivo dei flussi più concentrati, calcolabile anch'essa facilmente attraverso la seguente formula:

$$v_m = \frac{l}{t_m - t_0}$$

In funzione di queste due velocità possiamo ricavare il parametro adimensionale R_v che caratterizza la curva di incremento di concentrazione del tracciante:

$$R_v = \frac{v_{\max}}{v_m}$$

Questo rapporto sarà tanto più piccolo quanto maggiore sarà l'inclinazione della curva di incremento. Di conseguenza il parametro R_v può fornire delle ottime informazioni sulla tipologia della rete di flusso in quanto si basa sulla pendenza della curva di incremento, che è appunto funzione della tipologia del sistema dell'acquifero carsico.

Banzato et al. 2013 hanno ripreso il metodo proposto da Sommeria (1986), applicandolo a diversi casi studio, per la classificazione del grado di carsificazione dell'acquifero. La classificazione finale proposta è riportata in Tabella 10.

Tabella 10: Range di valori di R_v in funzione della tipologia di acquifero

Valori di R_v	Tipologia di sistema
< 2	Sistema a dreno dominante
2 - 4	Sistema a dreni interconnessi
> 4	Sistema a circolazione dispersiva

Il metodo sopra descritto è un esempio, fra i molti presenti in letteratura, per lo studio della curva di restituzione al fine di ottenere preziose informazioni sul comportamento dell'acquifero oltre che sulle sue interconnessioni.

7. MODELLI CONCETTUALI DEGLI ACQUIFERI

7.1. PREMESSA

Un sistema acquifero è, in generale, una struttura molto complessa pertanto, al fine di comprenderne il funzionamento, esso deve essere semplificato. Tale opera di semplificazione avviene attraverso la definizione di un modello, ovvero la rappresentazione, in questo caso, di un acquifero, nei suoi aspetti fondamentali.

In questo contesto si preme sottolineare l'importanza reciproca del monitoraggio e della modellizzazione: due aspetti complementari e paralleli per la comprensione dei fenomeni che regolano un sistema acquifero. L'approccio allo studio delle interferenze acquifero-opera sotterranea deve necessariamente coinvolgere questi due "strumenti" per essere completo. Tale studio infatti deve essere costituito dall'integrazione tra i dati di monitoraggio e il relativo modello concettuale: i dati raccolti costituiscono le fondamenta su cui il modello concettuale deve poggiarsi; il modello concettuale al contempo fornisce informazioni per la configurazione e la "calibrazione" del piano di monitoraggio. Tale piano infatti non è da considerarsi statico ma in continuo aggiornamento in quanto legato ad un'interazione dinamica tra lo scavo e l'acquifero.

La definizione dei modelli concettuali, riportata nel paragrafo 7.3, è stata realizzata nell'ambito del progetto MORIS (Monitoraggio delle Risorse Idriche Sorgive), un progetto della Regione Piemonte, sviluppato in collaborazione con il DIATI (Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture) del Politecnico di Torino.

7.2. I SISTEMI ACQUIFERI

Con il termine **acquifero** si intende una struttura (o sistema) costituita da una parte solida (la roccia) comprensiva di vuoti e una parte liquida (l'acqua) contenuta nella totalità o in una parte dei vuoti. La quantità di acqua immagazzinata all'interno di un acquifero determina la risorsa idrica sotterranea (RIS) (Civita M. , 2005).

La parte solida dell'acquifero può essere costituita da roccia coerente o incoerente, caratteristica questa che permette una prima differenziazione per quanto riguarda il tipo di acquifero, cui è strettamente legata la definizione relativa al tipo di porosità e al concetto di porosità primaria o secondaria.

La **porosità** di una roccia è una peculiarità dell'acquifero che può variare in funzione del numero, delle dimensioni, della forma e della disposizione spaziale dei vuoti, parte integrante della roccia stessa (Civita, 2005). Può essere definita primaria o secondaria in funzione della contemporaneità o meno degli eventi che hanno dato luogo alla formazione della roccia e dei vuoti.

I meati di origine primaria si formano contemporaneamente alla roccia che li contiene, facendo quindi parte della loro struttura. Comprendono quindi le cavità dovute al fenomeno di degassazione di alcune rocce piroclastiche, i meati delle rocce sedimentarie che si mantengono fino al termine del processo di diagenesi, nonché i vuoti intergranulari dei depositi sedimentari.

I meati di origine secondaria sono dovuti agli eventi che intervengono in seguito alla litogenesi, quali la fratturazione o fessurazione, le discontinuità in generale, l'erosione meccanica e la dissoluzione chimica.

Di notevole importanza sono le dimensioni dei vuoti all'interno di un sistema acquifero, suddivise in supercapillari, capillari e subcapillari. Le tre diverse suddivisioni sono stabilite in funzione della possibilità o meno che si verifichi la risalita per capillarità (Civita M. , 2005).

La **permeabilità** intrinseca di una roccia si definisce come la capacità della stessa di essere percorsa da un fluido sotto l'azione della gravità in condizioni normali di temperatura e pressione. È quindi una peculiarità dinamica delle rocce del tutto indipendente dalle caratteristiche del fluido che le attraversa (Civita, 2005).

Il collegamento tra i meati risulta una condizione indispensabile affinché si verifichi lo spostamento dell'acqua tra un vuoto e l'altro. Alta porosità e scarso o nullo collegamento tra i vuoti, non permettono la circolazione idrica in sotterraneo, con una conseguente scarsa permeabilità del mezzo acquifero. La relazione tra porosità e permeabilità non è quindi di proporzionalità diretta, poiché la dimensione dei vuoti nonché il collegamento tra essi giocano un ruolo molto importante nella definizione di permeabilità di un sistema acquifero.

Complessivamente si distinguono tre diversi tipi di acquiferi:

1. Acquiferi porosi
2. Acquiferi fessurati
3. Acquiferi carsici

Di seguito si specificano le caratteristiche di ciascuno di essi.

1. Acquiferi porosi

Gli **acquiferi porosi** sono caratterizzati da una porosità primaria e quindi sono costituiti da rocce incoerenti (accumuli sedimentari di vario genere), da rocce sedimentarie coerenti che hanno mantenuto una certa porosità iniziale. Nelle rocce sedimentarie (incoerenti o meno), fermo restando l'esistenza di un certo collegamento tra i meati, la permeabilità è definita dalla dimensione dei vuoti interconnessi, per cui una maggiore dimensione dei granuli determina una maggiore permeabilità intrinseca dell'acquifero. Vista la distribuzione nonché il tipo di vuoti, la struttura dell'acquifero può essere considerata omogenea.

Poiché la permeabilità di un acquifero dipende dalla granulometria dei sedimenti che lo compongono, la dimensione dei granuli e quindi i depositi sedimentari che li contengono, possono essere distinti in funzione del grado di energia degli ambienti in cui si verifica la deposizione.

Si distinguono quindi ambienti ad alta energia, in cui si depositano sedimenti a granulometria prevalentemente grossolana (ciottoli, ghiaie e sabbie) che ospitano quindi acquiferi ad alta o media permeabilità: depositi di versante, conoidi di detrito, conoidi alluvionali, fiumi a treccia, depositi di spiaggia.

Ambienti a media energia, nei quali vengono depositate principalmente sabbie grossolane o ghiaie, nelle quali possono formarsi acquiferi a media permeabilità: depositi fluviali di meandro (barre), ambienti deltizi e marini profondi ad alta efficienza.

Ambienti a bassa energia, in cui vengono depositati sedimenti fini, quali sabbie fini o limose, all'interno dei quali possono essere ospitati acquiferi a bassa o bassissima permeabilità: depositi di piattaforma e marini profondi a bassa efficienza.

I depositi glaciali, che prendono origine da un ambiente di sedimentazione particolare, hanno altri tipi di caratteristiche. Sono formati da sedimenti di varie dimensioni (dai massi al limo), con una forte prevalenza di materiali fini, nei quali possono trovarsi acquiferi con una permeabilità variabile, orientata prevalentemente verso il grado medio-basso.

2. Acquiferi fessurati

Gli **acquiferi fessurati** (o fratturati) sono impostati in quei litotipi interessati da discontinuità di tipo primario (giunti di strato, scistosità) o acquisite successivamente alla fase di diagenesi in seguito a deformazioni in grado di provocare fratturazioni all'interno dell'ammasso roccioso (porosità secondaria). Possono trovarsi anche in alcuni tipi di rocce vulcaniche che si fratturano in seguito a raffreddamento. La permeabilità dell'acquifero dipende quindi dal grado di interconnessione dei vuoti, nonché dalla loro dimensione, fermo restando che la discontinuità sono generalmente abbastanza chiuse, per cui la permeabilità risulta tendenzialmente bassa o molto bassa. Le fratture, inoltre, successivamente alla loro formazione possono essere riempite da materiale secondario, quale sedimenti fini o mineralizzazioni di vario genere, con conseguente riduzione dello spazio e quindi del grado di permeabilità. Poiché i sistemi di discontinuità non sono distribuiti omogeneamente all'interno di un ammasso roccioso e possono concentrarsi in corrispondenza di zone di movimento importanti (fasce cataclastiche), il sistema acquifero che ne risulta viene considerato eterogeneo.

Qualsiasi tipo di roccia coerente può subire deformazioni fragili in seguito alla propria genesi, per cui qualunque roccia può essere interessata da fratture e ospitare così un acquifero fessurato, comprese quelle che mantengono una certa porosità primaria.

3. Acquiferi carsici

Gli **acquiferi carsici** sono ospitati all'interno di quei litotipi definiti carsificabili, in grado cioè di reagire con l'acido carbonico andando in soluzione. La dissoluzione di tali rocce determina la formazione di vuoti di svariate dimensioni (se di grandi dimensioni danno luogo a porzioni altamente permeabili) attraverso i quali l'acqua trova il proprio percorso (porosità secondaria). Tali acquiferi si manifestano quindi in rocce dolomitiche, carbonatiche, gessose o saline, o in qualsiasi tipo di roccia la cui componente dolomitica, carbonatica, gessosa o salina costituisca una certa percentuale: minore sarà questa percentuale, minore sarà il grado di carsificazione. La dimensione, ma soprattutto l'interconnessione dei vuoti determina la permeabilità della roccia, il cui grado varia notevolmente in funzione della dimensione dei meati. Come per quelli fessurati, gli acquiferi carsici hanno una struttura del tutto eterogenea in quanto la formazione e distribuzione dei vuoti carsici è guidata dalla disposizione delle discontinuità in cui circola l'acqua. Il grado di fratturazione di una roccia carsificabile condiziona invece l'eventuale formazione della rete carsica, in quanto un'intensa fratturazione dell'ammasso roccioso favorisce l'infiltrazione e la circolazione diffusa delle acque,

impedendo così una circolazione concentrata in pochi punti che può generare la formazione di cavità carsiche.

7.3. MODELLI CONCETTUALI DI FUNZIONAMENTO DEGLI ACQUIFERI

Per lo studio dell'interazione tra acquifero e opere in sotterraneo è basilare la conoscenza dell'organizzazione del flusso idrico all'interno dell'acquifero stesso: cioè è necessario conoscere come e in quali strutture (micro fratture, grandi condotti, ecc.) la componente idrica si muove all'interno dell'acquifero.

Esistono diverse tipologie di modelli concettuali alla base del funzionamento di un sistema acquifero, che ne classificano la velocità e l'organizzazione del flusso in (Galleani, Vigna, Banzato, & Lo Russo, 2011):

- Acquiferi ad elevata velocità di flusso;
- Acquiferi a moderata velocità di flusso;
- Acquiferi a bassa velocità di flusso.

Tale semplificazione, implicita nel concetto stesso di modello, non esclude, ovviamente, l'esistenza di situazioni intermedie tra i tre sistemi descritti.

Per determinare a quale modello concettuale un acquifero è assimilabile, è possibile ricorrere:

- allo studio della dinamica delle acque: analisi dei dati di portata e delle sue variazioni presso le sorgenti nonché studio degli andamenti piezometrici nel tempo;
- allo studio della risposta chimico-fisica: interpretazione dei dati di monitoraggio ad alta frequenza relativo alle variazioni "reciproche" dei parametri temperatura, conducibilità elettrica e portata/livello;
- analisi chimiche: analisi del contenuto di ioni (Calcio, Magnesio, Bicarbonato, Solfati, Cloruri, Sodio, Potassio, Nitrati, metallici) in acqua.

La complessità dei sistemi acquiferi, talvolta, fa sì che neppure con l'adozione di queste metodologie si acquisisca una visione chiara della loro organizzazione ma, solitamente, l'integrazione di tali studi e analisi, se non sufficiente di per se, quanto meno fornisce utili informazioni sulle ulteriori ricerche da intraprendere (es. analisi isotopiche, test con traccianti, ecc).

Tali metodologie saranno trattate separatamente, in quanto, nello studio di un sistema acquifero, non sempre risulta possibile applicarle in maniera congiunta. Dato lo studio effettuato per lo più in acquiferi carsici, questi, saranno trattati con maggiore dettaglio rispetto agli acquiferi porosi.

7.3.1. SISTEMI CON ELEVATA VELOCITÀ DI FLUSSO

Gli acquiferi porosi ad elevata velocità di flusso si sviluppano in materiali ad alta permeabilità (es. ghiaie) e presentano una zona satura molto ridotta o assente.

Gli acquiferi carsici ad elevata velocità di flusso sono caratterizzati dalla presenza di una rete di drenaggio impostata in grossi condotti, alcuni sempre attivi, mentre in altri la circolazione idrica si manifesta solamente durante le piene maggiori. La zona satura tradizionale è assente mentre sono presenti tratti sifonanti più o meno lunghi che costituiscono unicamente una via di transito delle acque sotterranee. La rete di flusso è ben organizzata con una serie di collettori principali e secondari che sono in grado di smaltire rapidamente gli apporti infiltrativi.

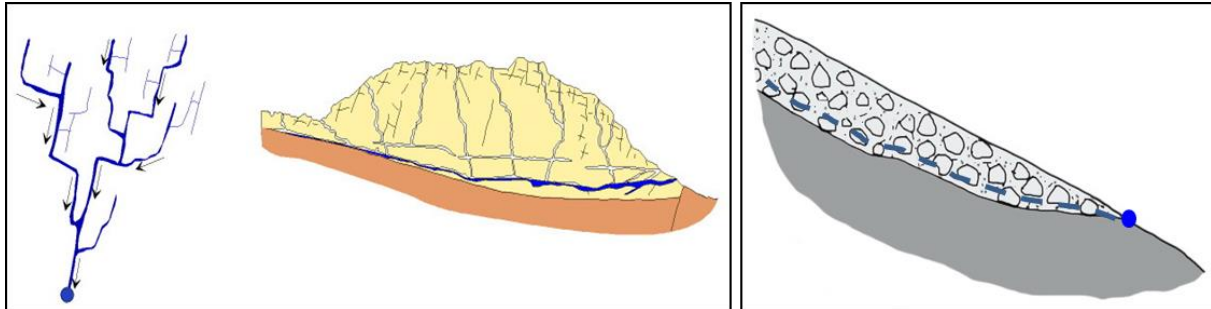


Figura 26: sezione e planimetria schematica di un sistema con funzionamento a elevata organizzazione di flusso (Vigna, 2007)

7.3.1.1. STUDIO DELLA DINAMICA DELLE ACQUE

I sistemi ad elevata organizzazione di flusso alimentano sorgenti impostate in corrispondenza di un limite di permeabilità ben definito come un contatto tra rocce impermeabili ed il sovrastante acquifero, generalmente ubicato ad una quota più elevata rispetto al livello di base locale (sorgenti sospese). Le variazioni di portata di queste emergenze sono molto marcate, strettamente condizionate dal regime meteorologico locale. In assenza di apporti infiltrativi il flusso idrico è ridotto mentre in occasione di precipitazioni abbondanti, nell'arco anche di poche ore, la portata presenta incrementi notevoli, con picchi molto pronunciati ma di durata molto limitata. Sovente nell'area sorgiva sono presenti altre emergenze che funzionano da esuttori temporanei, attivandosi unicamente durante le piene maggiori, denominati sorgenti di troppo-pieno, che smaltiscono una parte del flusso idrico che non riesce ad essere evacuato dalla sorgente principale.

Così come le portate anche i livelli piezometrici, in acquiferi ad elevata organizzazione di flusso, mostreranno significative oscillazioni; gli apporti meteorici faranno innalzare tali livelli in maniera piuttosto rapida e altrettanto velocemente, successivamente all'evento, essi ritorneranno a valori ordinari.

7.3.1.2. STUDIO DELLA RISPOSTA CHIMICO-FISICA

La geochimica delle acque sorgive risente pesantemente della presenza dei grossi condotti, negli acquiferi carsici e di zone altamente permeabili, impostate in livelli costituiti da materiali grossolani e puliti nei sistemi porosi. La zona satura tradizionale è generalmente assente: in occasione di eventi infiltrativi importanti, anche dopo un prolungato periodo di siccità si osserva, parallelamente all'incremento della portata, una repentina diminuzione dei valori della mineralizzazione ed in genere anche della temperatura in quanto giungono all'emergenza le acque di neoinfiltrazione poco o nulla tamponate, ancora aggressive, che sostituiscono in breve tempo le acque circolanti nel sistema (fenomeno di **sostituzione** prevalente (Vigna, 2007)). In tali periodi è possibile che si verifichi talora

un sensibile aumento della carica batterica o del tenore in nitrati legato all'intenso dilavamento della materia organica presente nelle aree assorbenti. Esauritosi il fenomeno infiltrativo, evidenziato dalla diminuzione della portata, molto lentamente, i diversi parametri chimico-fisici delle acque tornano ad aumentare condizionati dalla diminuzione delle velocità del flusso sotterraneo e di una maggiore intimità di contatto acqua-roccia.

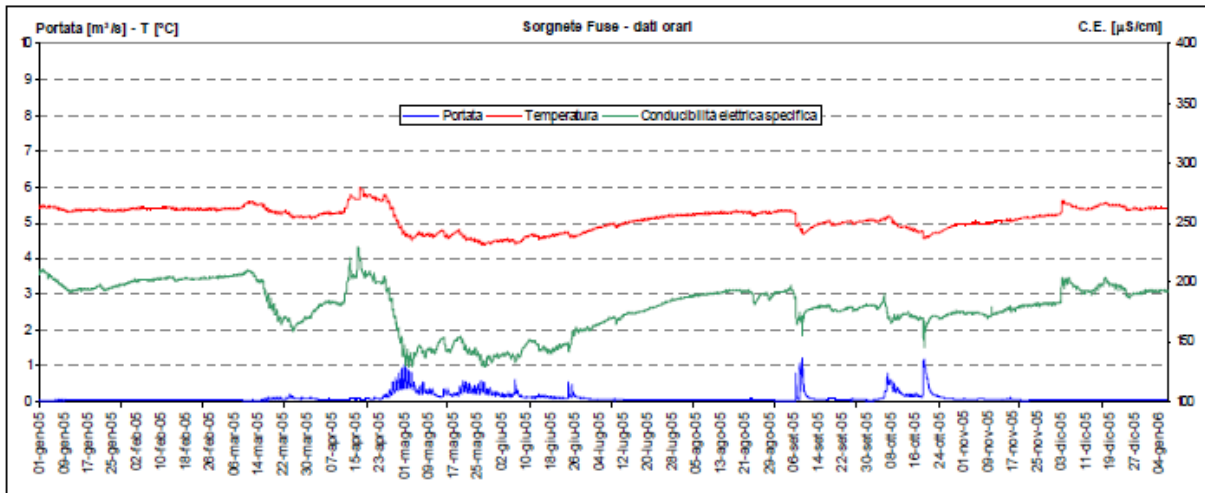


Figura 27: andamento della portata, temperatura e conducibilità elettrica specifica delle acque di una sorgente alimentata da un sistema a elevata organizzazione di flusso (Sorgente Fuse, Piemonte meridionale) (Banzato, 2009)

7.3.1.3. ANALISI CHIMICHE

Le analisi chimiche, in un sistema ad elevata velocità di flusso, mostreranno importanti variazioni nel tempo legate all'arrivo di acque di neoinfiltrazione, caratterizzate da una minor mineralizzazione.

La concentrazione dei diversi ioni mostrerà sostanzialmente delle differenze legate ai periodi di magra e di piena.

In Figura 28 è riportato il diagramma di Schoeller relativo alla sorgente delle Fuse. Nei periodi di magra (autunno 2010-2011) si vedono concentrazioni più alte di solfati mentre nei periodi piena (primavera 2010 – 2011) le concentrazioni dello stesso parametro risultano minori. Tali variazioni risultano comunque essere contenute in quanto la sorgente presa come esempio mostra, in generale, una mineralizzazione piuttosto bassa; tali variazioni si noterebbero maggiormente in sorgente caratterizzate da acque più mineralizzate.

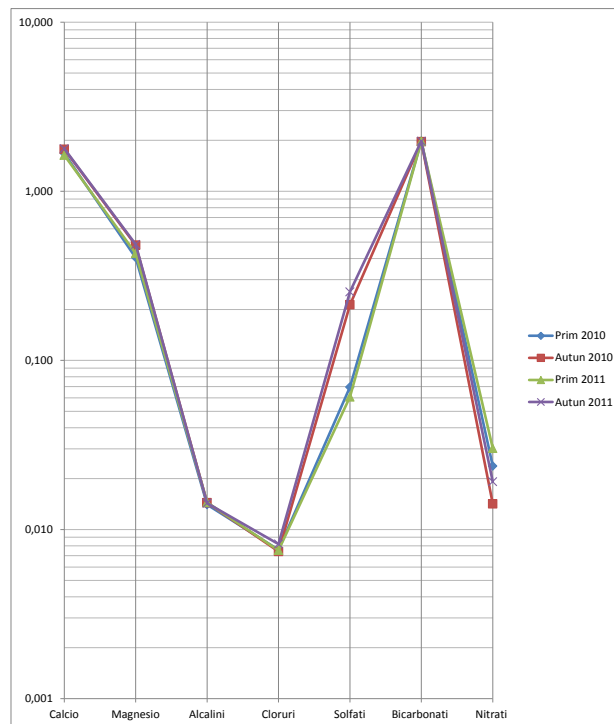


Figura 28: Diagramma di Schoeller della sorgente Fuse

Un maggior numero di analisi eseguite in diverse condizioni idrodinamiche evidenzerebbe in modo più marcato la variabilità del chimismo.

7.3.1.4. INTERFERENZE CON UN'OPERA SOTTERRANEA

La realizzazione di un'opera sotterranea in un acquifero ad elevata velocità di flusso può dare origine, sostanzialmente, a due situazioni contrapposte:

1. lo scavo non intercetta una zona ad elevata velocità di flusso
2. lo scavo intercetta una zona ad elevata velocità di flusso

Nel primo caso, essendo pressoché assente la zona satura, lo scavo avanzerà in un materiale piuttosto compatto e comunque in assenza di venute idriche significative se non quelle legate a piccole fratture secondarie. Nel secondo caso, invece, in un sistema poroso l'intercettazione avverrà in corrispondenza della superficie piezometrica la cui quota subirà nel tempo blande variazioni sostanzialmente legate agli apporti infiltrativi. Tale intercettazione comporterà significative venute idriche e conseguentemente un sistema efficace di drenaggio e allontanamento.

In un sistema carsico l'intercettazione avverrà in corrispondenza di un importante condotto carsico. Le venute al fronte saranno piuttosto considerevoli anche se difficilmente esse si manifesteranno sotto forma di inrush. Sarà dunque necessario predisporre un adeguato piano di allontanamento delle acque dal fronte. In tale situazione la ricostruzione della superficie piezometrica risulterà impossibile. Inoltre la realizzazione di sondaggi geognostici per la configurazione di una rete di piezometri per il monitoraggio, potrebbe risultare inutile se non si

hanno a disposizione dati precisi circa lo sviluppo dei collettori (studi pregressi dell'area, dati speleologici, ecc).

Gli apporti infiltrativi influenzano in maniera significativa e repentina le portate nei collettori modificando di conseguenza le eventuali venute in galleria.

7.3.2. SISTEMI CON MODERATA VELOCITÀ DI FLUSSO

Gli acquiferi porosi a moderata velocità di flusso sono caratterizzati da un'estesa zona satura e da permeabilità medio alte. Tali acquiferi saranno costituiti da materiali a grana media con una percentuale importante di materiale fine (sabbia - limo). Un esempio di tali tipologie di acquifero è rappresentato dagli acquiferi glaciali.

Gli acquiferi carsici a moderata velocità di flusso si riscontrano generalmente in ammassi rocciosi con assenza di importanti collettori e presenza di cavità semiattive, ad andamento prevalentemente verticale, che costituiscono le vie privilegiate del flusso sotterraneo, tra loro indipendenti, verso le zone più profonde dell'acquifero. In alcuni sistemi la circolazione idrica della zona non satura può essere impostata prevalentemente su reticoli di fratture e discontinuità poco carsificate. In profondità, generalmente ad una quota prossima a quella delle sorgenti, è invece presente una zona satura molto sviluppata e caratterizzata da una serie di condotti e fratture collegate fra loro, che formano un importante serbatoio con cospicue riserve idrogeologiche. In tale zona è presente una superficie piezometrica virtuale piuttosto articolata e complessa, rilevabile anche a quote diverse nel caso in cui esistano dei sottosistemi interconnessi con il principale (Civita, Cocozza, Forti, Perna, & Turi, 1983)

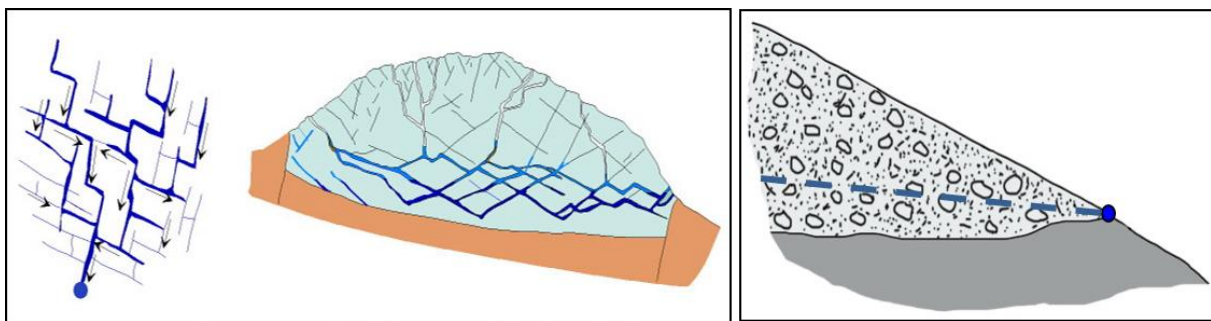


Figura 29: sezione e planimetria schematica di un sistema con funzionamento a moderata organizzazione di flusso

7.3.2.1. STUDIO DELLA DINAMICA DELLE ACQUE

Nei sistemi porosi la superficie piezometrica subirà forti variazioni di livello legate agli apporti infiltrativi.

Nei sistemi carsici i livelli idrici possono presentare variazioni in altezza molto forti, anche superiori al centinaio di metri, in seguito all'arrivo di rilevanti volumi di acque di neoinfiltrazione e all'impossibilità delle vie di drenaggio principale di smaltire rapidamente l'ingente flusso idrico. Questi sistemi alimentano sorgenti di tipo Valclusiano, caratterizzate dalla presenza di complessi e profondi sifoni, ubicati in prossimità del limite della struttura idrogeologica. Generalmente tali emergenze sono posizionate in prossimità di importanti soglie di permeabilità, con contatti sub-

verticali tra le rocce impermeabili e l'acquifero carbonatico, che danno luogo a vaste e potenti zone dell'acquifero totalmente allagate. Le portate, alle sorgenti mostrano, in occasione dei principali eventi infiltrativi, ancora incrementi importanti ma con una decrescita della curva di esaurimento più lenta rispetto ai sisemi a dreno dominante che testimonia l'importanza delle riserve regolatrici e una discreta capacità di autoregolazione del sistema acquifero. I rapidi incrementi della portata che si osservano in alcune sorgenti non sono legati all'arrivo delle acque di neoinfiltrazione bensì all'effetto della trasmissione delle pressioni idrauliche nelle fratture o nei condotti a pieno carico: in occasione di importanti apporti, gli innalzamenti dei livelli idrici che si verificano in corrispondenza della zona satura causano un incremento del flusso sorgivo, quasi immediato, anche a chilometri di distanza (onde di pressione).

7.3.2.2. STUDIO DELLA RISPOSTA CHIMICO-FISICA

I valori idro-geochimici mostrano, durante le piene, notevoli aumenti della mineralizzazione e della temperatura delle acque in seguito a fenomeni di **pistonaggio** (Vigna, 2002). Gli importanti volumi delle acque di neoinfiltrazione fanno infatti aumentare in modo considerevole i carichi idraulici nella rete carsica, con conseguente rimobilizzazione di acque più mineralizzate presenti nei vasti e complessi settori della zona satura.

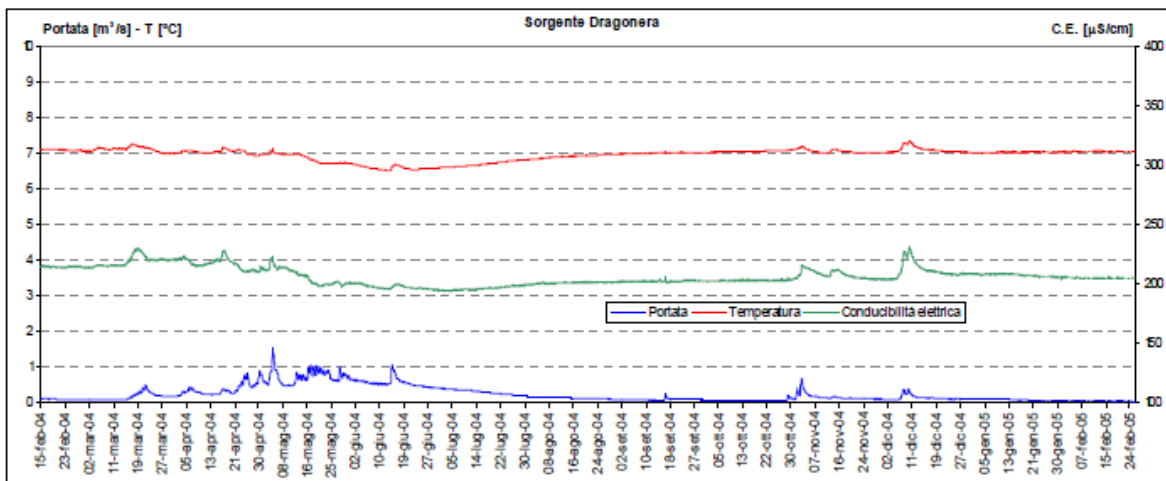


Figura 30: andamento della portata, temperatura e conducibilità elettrica specifica delle acque di una sorgente alimentata da un sistema con moderata organizzazione di flusso (Sorgente Dragonera, Piemonte meridionale) (Banzato, 2009)

7.3.2.1. ANALISI CHIMICHE

Le analisi chimiche, in un sistema a moderata velocità di flusso, mostreranno ancora significative variazioni nella concentrazione degli ioni.

In Figura 31 è riportato un diagramma di Schoeller di un acquifero a moderata velocità di flusso

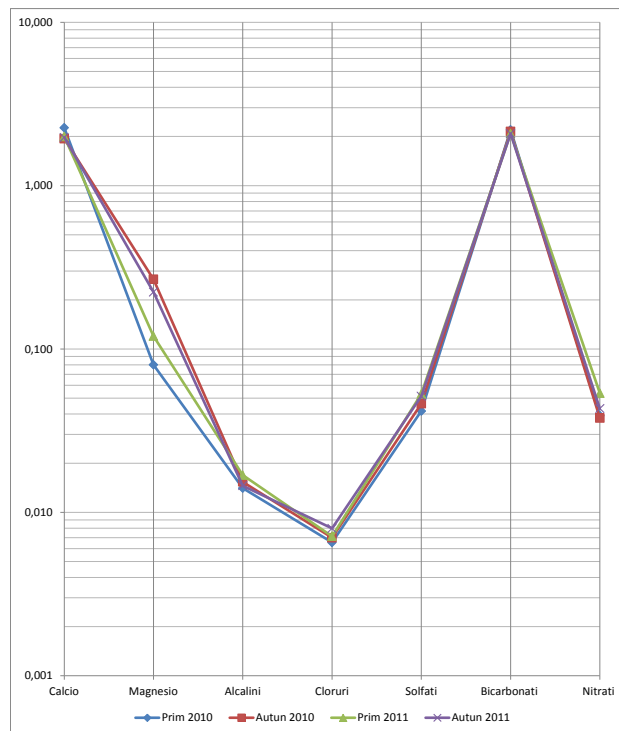


Figura 31: Diagramma di Schoeller relativo alla sorgente Dragonera

7.3.2.2. INTERFERENZE CON UN'OPERA SOTTERRANEA

Gli acquiferi a moderata velocità di flusso sono quelli che, generalmente, possono dare origine alle situazioni più complesse da studiare e in cui operare uno scavo.

In un acquifero poroso si potranno verificare principalmente tre situazioni differenti:

1. Scavo eseguito ad una quota molto maggiore rispetto alla quota della superficie piezometrica (sopra falda)
2. Scavo eseguito ad una quota inferiore alla quota della superficie piezometrica (sotto falda)
3. Scavo eseguito ad una quota poco maggiore rispetto alla quota della superficie piezometrica (in prossimità dell'interfaccia)

Nel primo caso lo scavo non presenterà particolari interferenze con l'acquifero e di conseguenza non richiederà importanti opere di impermeabilizzazione.

Nel secondo caso lo scavo avverrà sostanzialmente nel corpo acquifero stesso e saranno necessari ingenti interventi di impermeabilizzazione.

Nel terzo e ultimo caso, siccome le variazioni della superficie piezometrica saranno significative, le venute in galleria saranno molto variabili quindi sarà necessario comunque un forte intervento di impermeabilizzazione e, se possibile, sarebbe auspicabile effettuare lo scavo nei periodi/stagioni caratterizzati da un basso livello piezometrico.

Negli acquiferi carsici la struttura dei sistemi a moderata velocità di flusso rende il mezzo eterogeneo e discontinuo. La realizzazione di opere sotterranee in questo contesto può comportare venute sotto forma di inrush in quanto sono relativamente frequenti reti di flusso caratterizzate da

un elevato carico idraulico (vedi Paragrafo 8.1). L'avanzamento dello scavo in questi sistemi acquiferi richiede cautele ulteriori rispetto ad altri sistemi, più semplici (sistemi ad elevata organizzazione di flusso) o omogenei (sistemi a bassa organizzazione di flusso). Anche in questo caso la ricostruzione della superficie piezometrica può portare ad errori di interpretazione in quanto è possibile che siano presenti più reti idriche separate tra loro in parte o del tutto: la superficie piezometrica quindi non sarebbe disposta in maniera omogenea ma si attesterebbe a quote differenti. L'eventuale drenaggio per l'allontanamento delle acque dalle zone di scavo non produrrà abbassamenti omogenei ma questi saranno relativi alla sola rete di flusso intercettata. Lo scavo, paradossalmente, potrà avvenire al di sotto della superficie piezometrica ma senza comportare interferenze con il sistema acquifero.

Gli apporti infiltrativi, a seconda dei casi, possono anche influenzare il flusso dell'acquifero in maniera poco significativa e/o generare risposte ritardate nel tempo. In questa tipologia di acquiferi acquista particolare rilievo il fenomeno della trasmissione delle pressioni idrauliche (in condotti a pieno carico). Il verificarsi di tale fenomeno può generare, invece, risposte anche molto rapide all'input infiltrativo.

7.3.3. SISTEMI CON BASSA VELOCITÀ DI FLUSSO

Gli acquiferi porosi a bassa velocità di flusso sono caratterizzati da una permeabilità medio - bassa (es. sabbie fini e limose) e da una zona satura molto estesa.

Gli acquiferi carsici a bassa velocità di flusso contraddistinguono ammassi rocciosi caratterizzati da una intensa fratturazione, anche a piccola scala, con numerose famiglie di discontinuità interconnesse, tanto da costituire acquiferi assimilabili a quelli di un mezzo poroso in ghiaie e sabbie (Figura 32). Non esistono vie di flusso preferenziali ma solo una complessa rete di drenaggio, piuttosto omogenea e con una superficie piezometrica abbastanza regolare. Possono essere presenti anche cavità di una certa dimensione, formatesi per favorevoli condizioni locali, ma che rimangono episodi isolati e non condizionanti le modalità della circolazione sotterranea. La zona satura è molto estesa e il flusso idrico, che presenta velocità molto ridotte, inferiori anche a un metro al giorno, si dirige verso la zona sorgiva condizionato dalla geometria delle rocce impermeabili che limitano lateralmente il massiccio carbonatico.



Figura 32: sezione e planimetria schematica di un sistema con funzionamento a bassa organizzazione di flusso

7.3.3.1. STUDIO DELLA DINAMICA DELLE ACQUE

Le portate mostrano variazioni piuttosto contenute nel tempo, con incrementi non correlabili con i singoli eventi infiltrativi o comunque sfasati di diversi mesi rispetto a questi ultimi. Questi sistemi

alimentano sorgenti, generalmente non puntuali e localizzate in corrispondenza dei settori altimetricamente più bassi della struttura acquifera. Alcune emergenze, denominate sorgenti lineari, incrementano la portata dei corsi d'acqua attraverso innumerevoli venute distribuite in ampi tratti dell'alveo fluviale

7.3.3.2. STUDIO DELLA RISPOSTA CHIMICO-FISICA

In sistemi a bassa organizzazione di flusso i parametri fisico-chimici delle acque sotterranee presentano una notevole costanza temporale dei valori, con blande variazioni a carattere stagionale (fenomeno di **omogeneizzazione** del segnale chimico (Vigna, 2002).

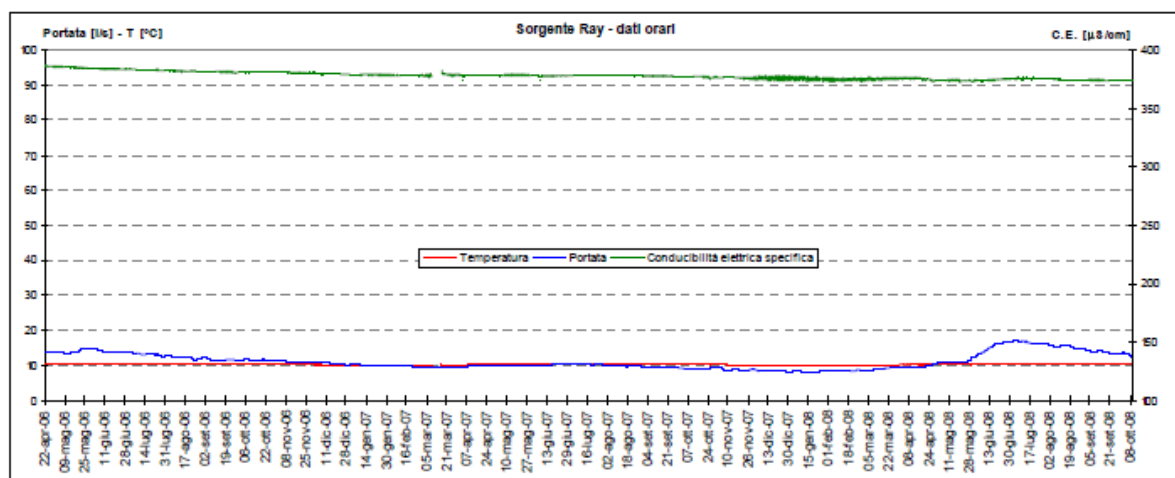


Figura 33: andamento della portata, temperatura e conducibilità elettrica specifica delle acque di una sorgente alimentata da un sistema a bassa circolazione di flusso (Sorgente Ray, Piemonte meridionale) (Banzato, 2009)

La mineralizzazione delle acque è sempre piuttosto elevata a causa della lenta circolazione idrica nell'ammasso roccioso. Le emergenze sono caratterizzate da portate piuttosto regolari ed acque, generalmente, di buona qualità.

7.3.3.1. ANALISI CHIMICHE

Le analisi chimiche in sistemi a bassa organizzazione di flusso non mostreranno variazioni se non minime. Le acque caratterizzanti questa tipologie di acquiferi presenteranno chimismi legati al forte scambio ionico con il materiale costituente l'acquifero stesso e con variazioni molto modeste legate agli apporti infiltrativi.

Nella Figura 34 è riportato il digramma di Schoeller di un acquifero a bassa velocità di flusso

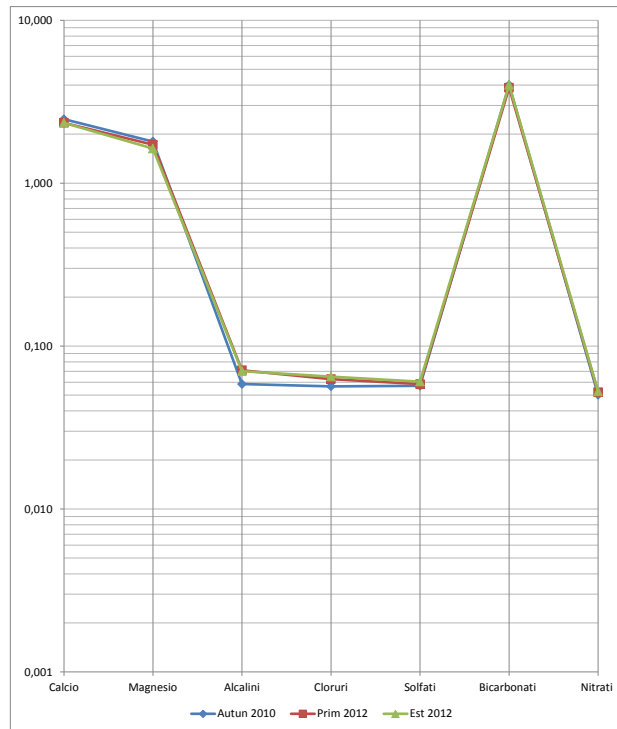


Figura 34: Diagramma di Schoeller della sorgente Ray

7.3.3.2. INTERFERENZE CON UN'OPERA SOTTERRANEA

Lo scavo in un mezzo a bassa velocità di flusso, generalmente, andrà incontro a venute di piccola-media entità diffuse nel caso di un acquifero poroso o legate all'intercettamento delle numerose fratture nel caso di un acquifero carsico. In tale contesto risulta plausibile la ricostruzione della superficie piezometrica in quanto il mezzo risulterà sostanzialmente di tipo continuo. Il monitoraggio effettuato tramite una rete di piezometri delinea una superficie piezometrica piuttosto regolare che tenderà ad abbassarsi progressivamente ed in maniera omogenea man mano che il drenaggio avrà luogo (Vedi Paragrafo 8.2).

Le portate in galleria, e in generale in un'opera sotterranea, saranno piuttosto costanti e non influenzate dalle precipitazioni.

7.4. MODELLO RELATIVO ALLA CIRCOLAZIONE DELLE ACQUE IN AMMASSI GESSOSI

Il fenomeno del carsismo era associato, prima degli anni '90, unicamente a sistemi e rocce carbonatiche. Klimchouk, nel 1996, sostenne invece che il fenomeno appartenesse ad un livello geologico-geografico di organizzazione dei materiali, piuttosto che ad una loro caratteristica chimico-fisica (Klimchouk A., 1996). Klimchouk definì diverse tipologie di carsismo in base alla loro evoluzione e alla posizione stratigrafica.

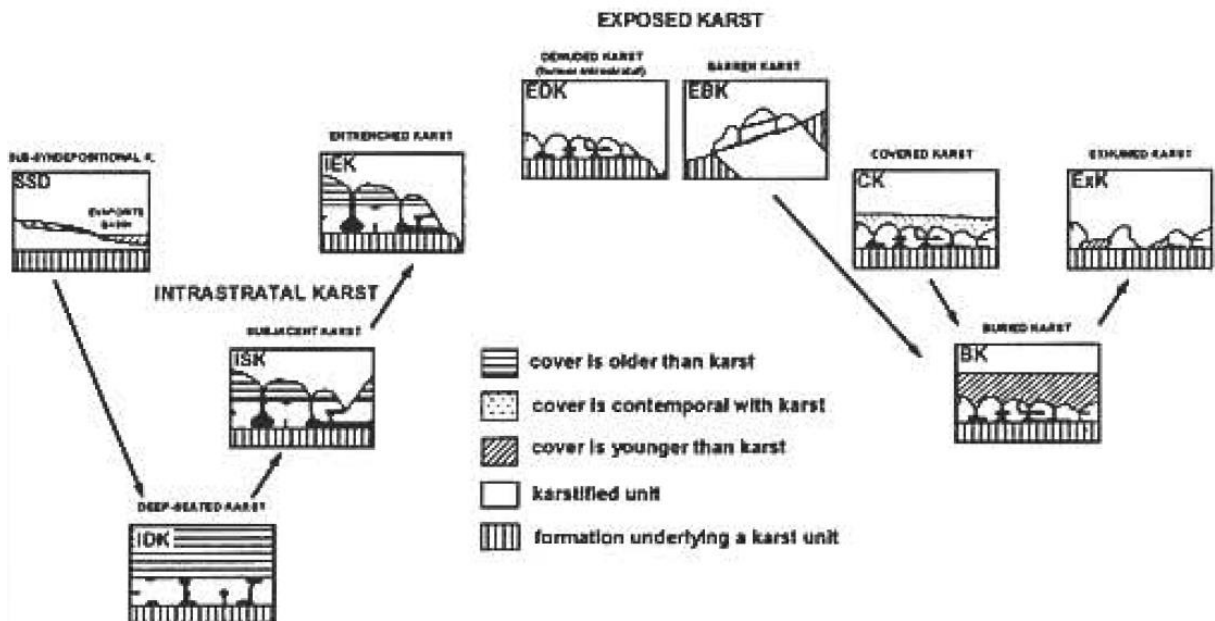


Figura 35: tipologie di carsismo in base all'evoluzione e alla posizione stratigrafica

Le tipologie proposte da Klimchouk sono elencate di seguito:

- Sistema carsico "intrastratal", formato per gran parte da processi profondamente radicati all'interno di rocce già sepolte da strati più recenti, dove la carsificazione è successiva alla deposizione delle rocce di copertura;
- Sistema carsico esposto: una superficie perfettamente nuda può essere soggetta all'abbassamento e alla rimozione degli strati di copertura, portando quindi in superficie porzioni sempre maggiori di rocce carsificabili. Quando la porzione di rocce carsificabili completamente esposte diventa maggiore delle rocce di copertura, il sistema carsico può essere considerato esposto;
- Sistema carsico coperto, formato dove lo strato di copertura autoctono si è sviluppato sinergicamente e contemporaneamente con il carso scoperto;
- Sistema carsico sepolto: si tratta di sistemi carsici che sono stati ricoperti da rocce più recenti, dopo essere stati sottoposti a fenomeni di esposizione;
- Sistema carsico "exumed": si tratta di sistemi carsici riportati in superficie (esposti) in seguito alla rimozione tramite erosione delle rocce di copertura che li avevano sepolti in precedenza.

Il monitoraggio di acquiferi carsici sviluppatosi nei gessi, svolto durante l'attività di ricerca, ha permesso di delineare un modello concettuale relativo proprio a questa particolare tipologia di acquiferi. Tale modello riprende i concetti, più generali, espressi nei paragrafi precedenti applicandoli ad un acquifero impostato nei gessi. Per ogni sistema, di seguito descritto, è riportato un esempio esplicativo:

- Sistema a dreno dominante – la sorgente del Rio Basino
- Sistema a dreni interconnessi – l'acquifero impostato nei gessi di Moncalvo
- Sistema a circolazione dispersiva – l'acquifero impostato nei gessi di Calliano

Per i diversi sistemi sono a disposizione differenti tipologie di dati.

7.4.1. SISTEMA ACQUIFERO A DRENO DOMINANTE

L'acquifero a dreno dominante è un sistema ad elevata velocità di flusso. L'acqua, all'interno di questi sistemi circola sfruttando grandi cavità carsiche che percorrono l'acquifero in tutta la sua lunghezza.

7.4.1.1. LA SORGENTE DEL RIO BASINO

Nella Figura 36 è stato riportato l'andamento della conducibilità elettrica e dei livelli idrici presso la sorgente del Rio Basino: tale risposta chimico-fisica evidenzia molto bene il comportamento a sostituzione prevalente. L'arrivo delle acque di neo infiltrazione e il conseguente aumento dei livelli è simultaneo alla diminuzione della conducibilità elettrica dovuta alla scarsa mineralizzazione delle acque di precipitazione.

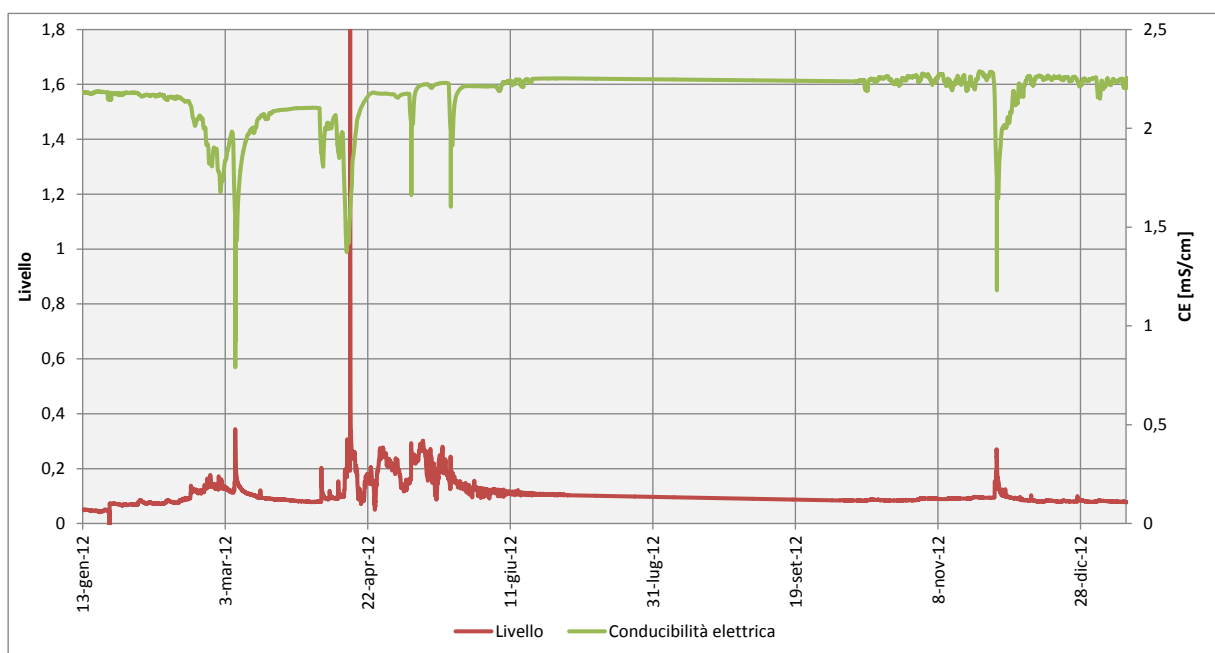


Figura 36: Andamento dei livelli e della conducibilità elettrica della sorgente del Rio Basino (Fonte: Jo De Waele 2012)

7.4.1. SISTEMA ACQUIFERO A DRENI INTERCONNESSI

L'acquifero a dreni interconnessi è un sistema a moderata velocità di flusso. L'acquifero è sviluppato in una rete di condotti carsici di piccole e medie dimensioni che si estende in maniera molto eterogenea all'interno ammasso. In questo contesto è plausibile la presenza di grandi vuoti sotterranei saturi d'acqua anche in pressione a causa degli elevati carichi idraulici che possono crearsi.

7.4.1.1. L'ACQUIFERO IMPOSTATO NEI GESSI DI MONCALVO

In Figura 37 è riportato l'andamento dei livelli piezometrici relativo all'acquifero impostato nei gessi di Moncalvo: risulta evidente, dalle quote piezometriche, la presenza di strutture carsiche interdipendenti che si livellano a quote differenti tra loro.

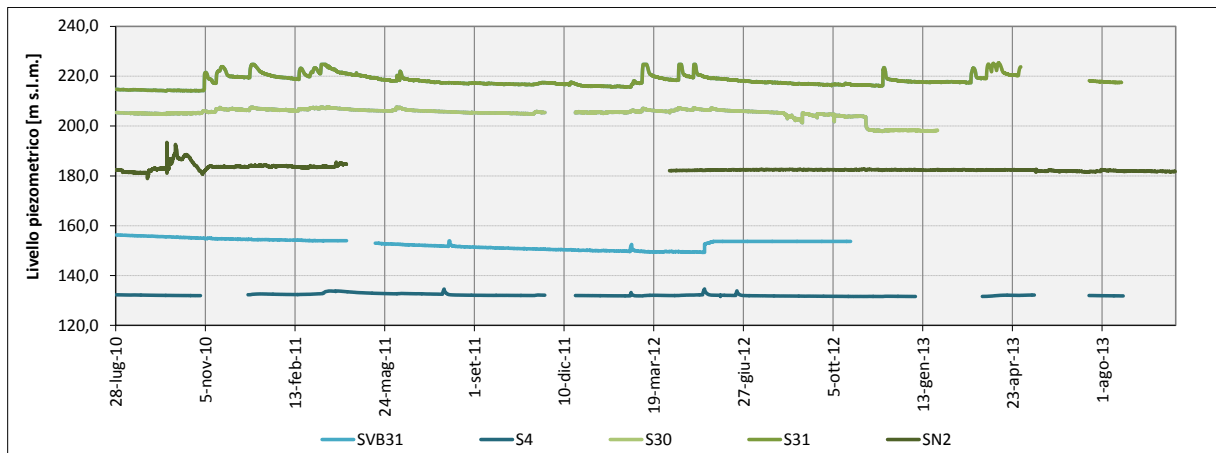


Figura 37: Andamento dei livelli piezometrici relativo all'acquifero impostato nei gessi di Moncalvo

La trattazione più approfondita relativa allo studio di questo acquifero è riportata nel Paragrafo 8.1

7.4.2. SISTEMA ACQUIFERO A CIRCOLAZIONE DISPERSIVA

L'acquifero a circolazione dispersiva è un sistema acquifero a bassa organizzazione di flusso. La circolazione avviene all'interno di una rete di piccole fratture e zone di discontinuità dell'ammasso: sebbene l'acquifero sia sviluppato in rocce carbonatiche esso, per l'omogeneità delle sue fratture, è assimilabile ad un acquifero continuo di tipo poroso.

7.4.2.1. L'ACQUIFERO IMPOSTATO NEI GESSI DI CALLIANO

L'acquifero impostato nei livelli di gesso di Calliano, così come riportato nella Figura 38 mostra, in seguito al drenaggio artificiale ad opera della cava, abbassamenti continui e regolari. Sebbene l'acquifero sia di tipo carsico l'andamento evidenziato dai piezometri è omogeneo grazie alla struttura acquifera sviluppata in una fitta rete di piccole fratture e discontinuità.

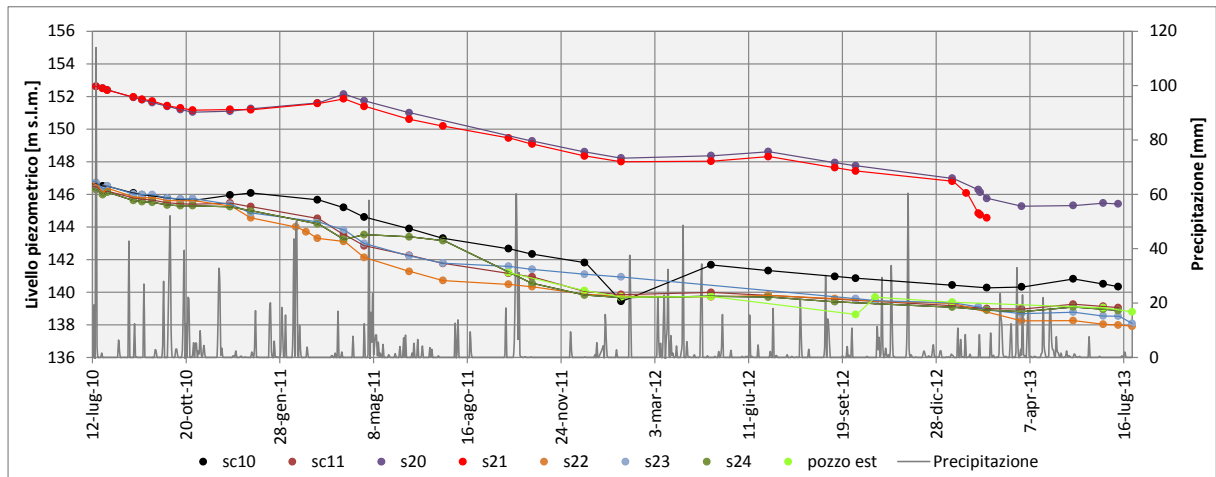


Figura 38: Andamento dei livelli piezometrici presso la cava di Calliano

La trattazione più approfondita relativa allo studio di questo acquifero è riportata nel Paragrafo 8.2.

7.5. MODALITÀ DI ALIMENTAZIONE DI UN SISTEMA ACQUIFERO

Un aspetto fondamentale per la comprensione di un sistema acquifero, soprattutto se interessato da un'opera sotterranea, è la sua modalità di alimentazione. Studiare gli apporti di un acquifero significa anche fare chiarezza sui possibili impatti, in termini di risorse idriche, connessi alla realizzazione dello scavo stesso.

Conoscere l'alimentazione dell'acquifero permette una corretta configurazione del piano di monitoraggio che difficilmente sarebbe possibile se tale dato fosse sconosciuto. La scelta di monitorare alcuni punti d'acqua rispetto ad altri è legato proprio ai fenomeni di ricarica dell'acquifero che possono coinvolgere sia sorgenti ma anche corsi d'acqua.

Inoltre le modalità di alimentazione possono condizionare pesantemente sia l'idrodinamica sia la chimica delle acque. Sostanzialmente si possono individuare due differenti tipologie di apporti (Vigna, Modelli concettuali relativi agli acquiferi in rocce carbonatiche, 2013):

- apporti legati all'**alimentazione primaria** ovvero la ricarica diretta (piogge o fusione nivale) che interessa nel tempo unicamente l'acquifero principale
- apporti legati all'**alimentazione secondaria** ovvero alle acque di ruscellamento provenienti da ammassi rocciosi poco permeabili o da travasi di acquiferi secondari (in genere detritici o fratturati) che contribuiscono alla ricarica dell'acquifero principale

Sulla base del tipo di alimentazione che un sistema acquifero riceve è quindi possibile riconoscere tre modelli concettuali (Figura 39) rispettivamente denominati: sistemi con alimentazione primaria prevalente, sistemi con alimentazione primaria e secondaria, sistemi con alimentazione secondaria prevalente

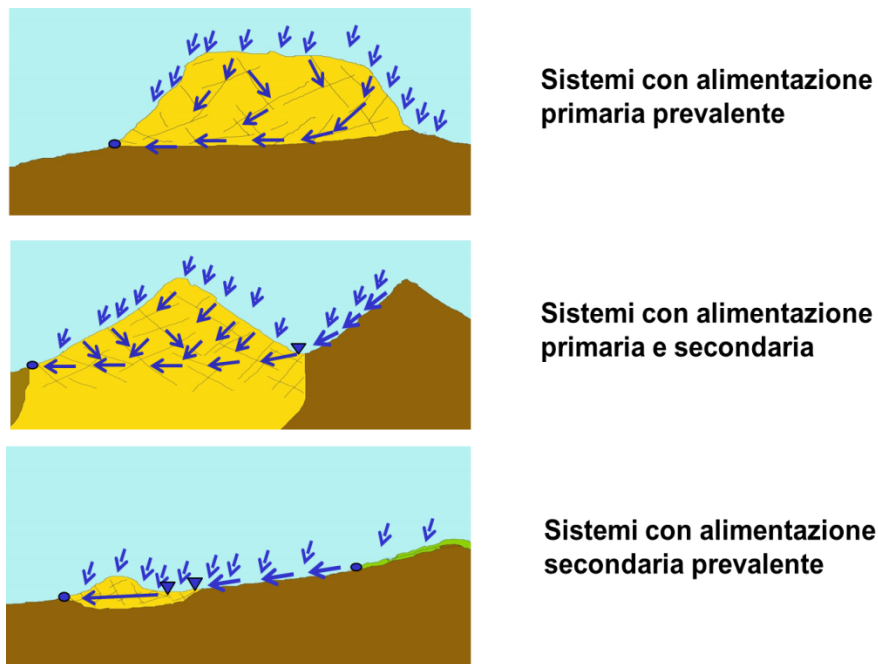


Figura 39: Modelli concettuali relativi alle modalità di alimentazione di un sistema acquifero

Nei prossimi paragrafi verranno approfondite le diverse modalità di alimentazione e suddivise in base alla tipologia di acquifero:

- carsico
- poroso

Per ogni tipologia verranno riportati degli esempi. Inoltre per ogni tipologia di alimentazione è stato effettuato un confronto relativo alle temperature, misurate in aria e in acqua, relativamente ai sistemi carsici e porosi.

7.5.1. SISTEMI AD ALIMENTAZIONE PRIMARIA PREVALENTE

I sistemi ad alimentazione primaria prevalente sono caratterizzati da un'infiltrazione diffusa e distribuita in modo piuttosto omogeneo sull'intera idrostruttura. In acquiferi carbonatici possono essere presenti anche alcuni inghiottitoi che assorbono le acque provenienti da esigui settori di rocce impermeabili che bordano o sono sovrapposte all'acquifero.

7.5.1.1. ACQUIFERO CARSIKO – SISTEMA ALIMENTANTE LA SORGENTE DELLE FUSE

Il sistema acquifero alimentante le sorgenti delle Vene e delle Fuse presenta un'alimentazione prevalentemente primaria legata all'infiltrazione diffusa delle acque di fusione nivale e alle piogge, attraverso una superficie altamente carsificata. Gli apporti di tipo secondario, legati alla presenza di piccoli rii, che si perdono in corrispondenza dell'acquifero carbonatico rappresentano un apporto trascurabile.

Di seguito in Figura 40 e in Figura 41 sono riportati gli andamenti della portata e della conducibilità derivanti dal monitoraggio condotto sulle sorgenti.

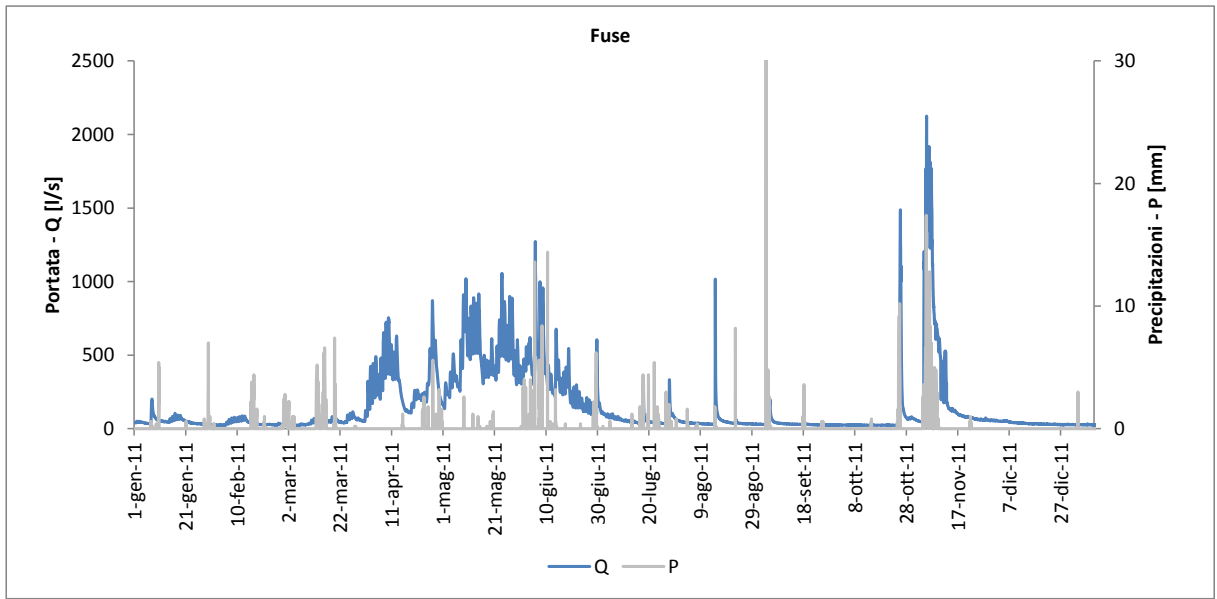


Figura 40: Andamento annuale della portata correlato con le precipitazioni

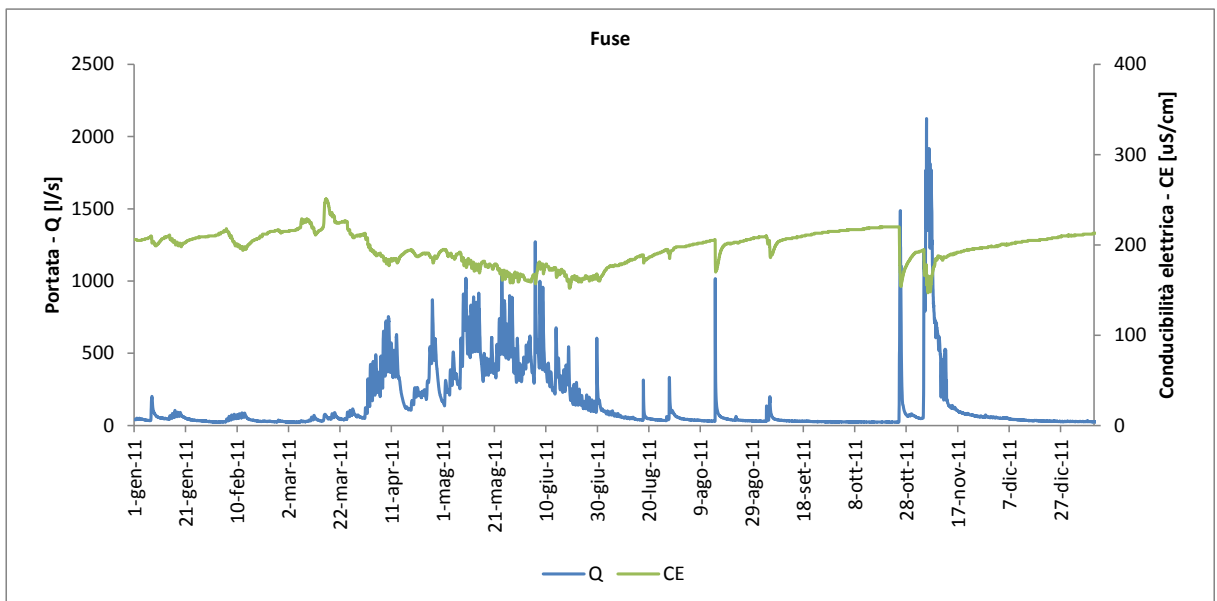


Figura 41: Andamento annuale della portata e della conducibilità elettrica della Sorgente Fuse

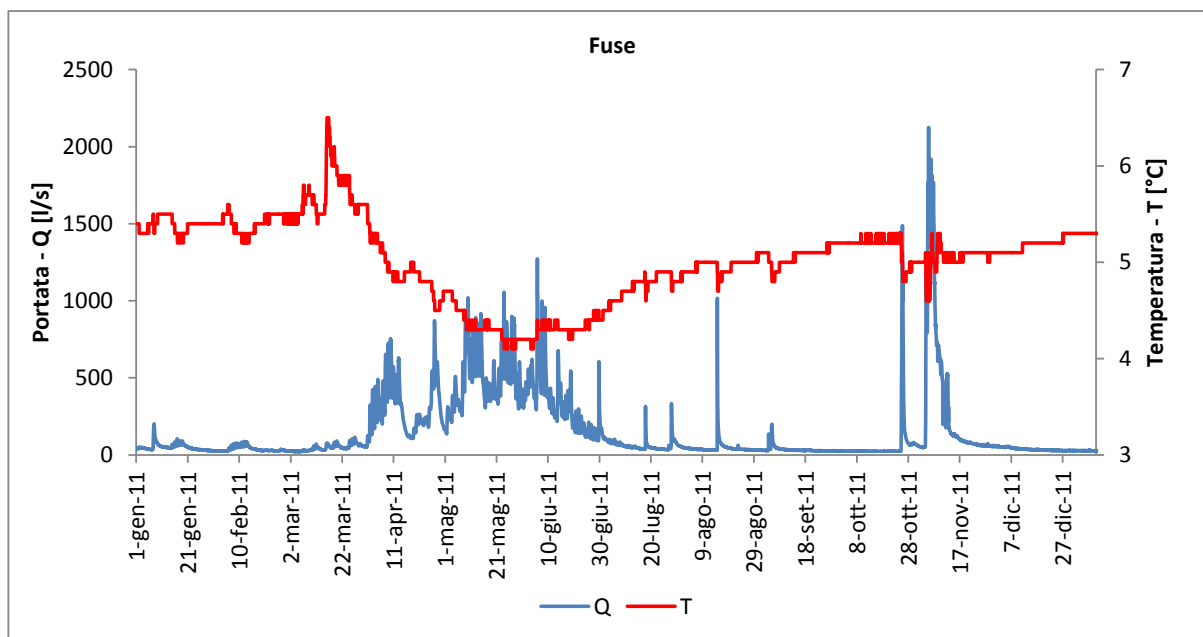


Figura 42: Andamento annuale della portata e della temperatura della Sorgente Fuse

La sorgente mostra un regime estremamente variabile con piene legate ai principali eventi infiltrativi (piogge e fusione nivale) e magre molto pronunciate in assenza di tali apporti. La risposta chimico fisica evidenzia un tipico comportamento a sostituzione prevalente tipico dei sistemi acquiferi ad elevata velocità di flusso, ridotta dimensione della zona satura ed alimentazione primaria legata all'infiltrazione diffusa in tutta l'area di ricarica. Anche i valori di temperatura delle acque subiscono repentine variazioni legate agli apporti infiltrativi (Figura 42).

7.5.1.2. ACQUIFERO POROSO – SISTEMA ALIMENTANTE LA SORGENTE DEL LAGHETTO DEL MARGUAREIS

La sorgente del Laghetto del Marguareis impostata in un sistema acquifero poroso è un esempio significativo di sistema ad alimentazione principalmente primaria.

L'andamento della conducibilità chimica in relazione con la portata evidenzia, anche in questo caso, un comportamento a sostituzione prevalente con aumenti di portata e repentini decrementi nella conducibilità elettrica (Figura 43 e Figura 44). Anche in questo caso la temperatura mostra importanti diminuzioni in funzione dell'aumento della portata correlato ad apporti di tipo primario (Figura 44)

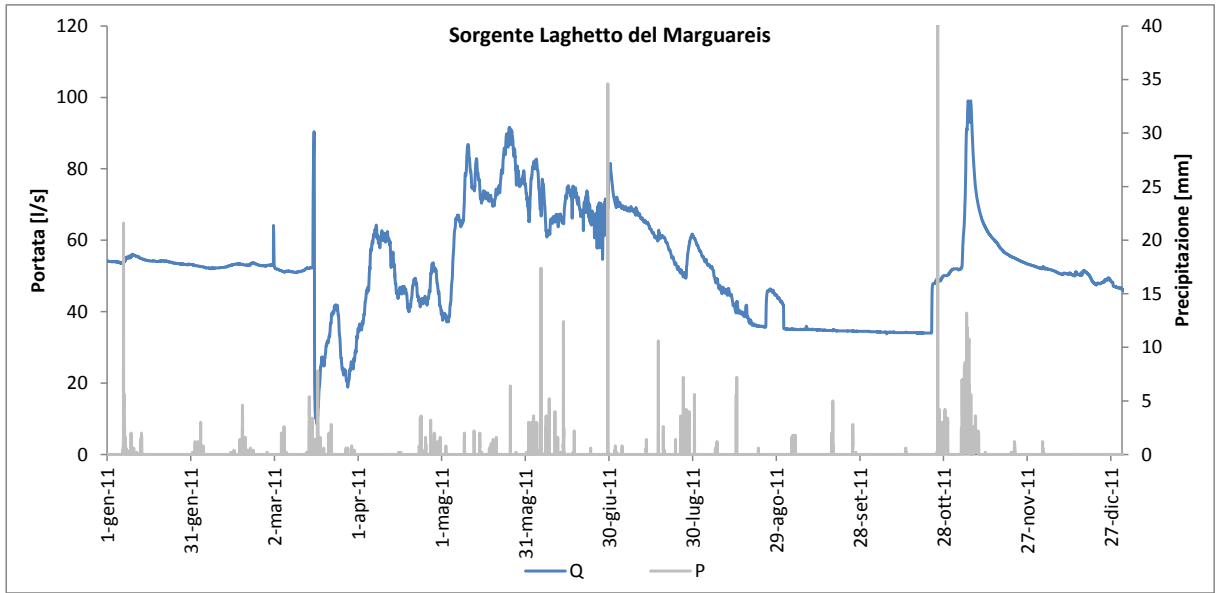


Figura 43: Andamento annuale della portata correlato con le precipitazioni presso la sorgente del Laghetto del Marguareis

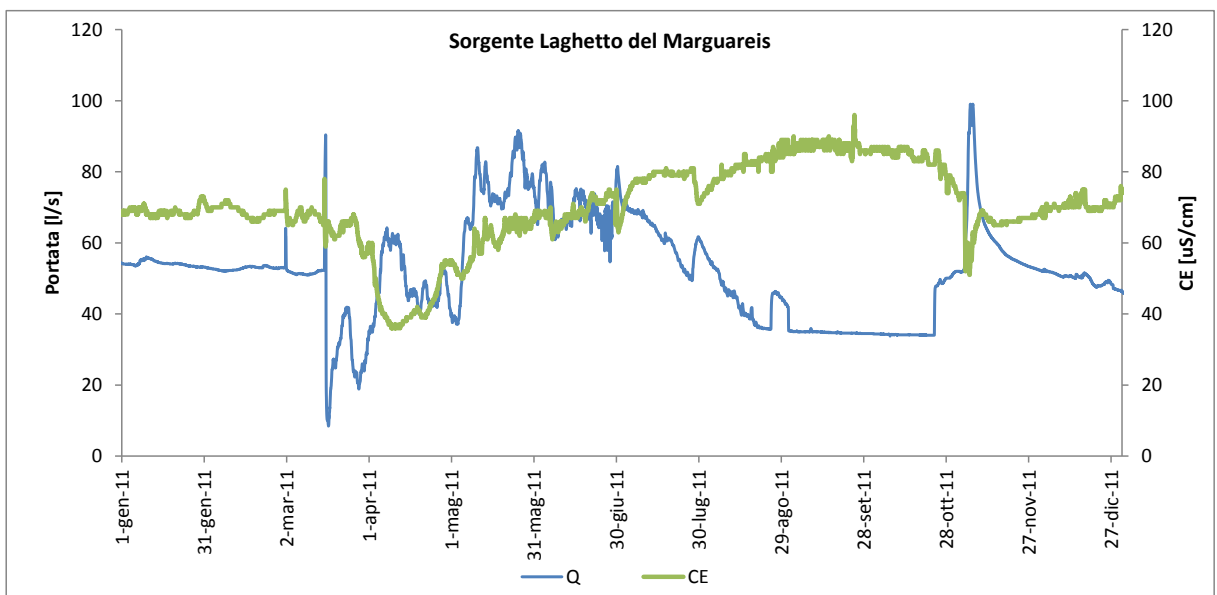


Figura 44: Andamento della portata e della conducibilità elettrica presso la sorgente del Laghetto del Marguareis

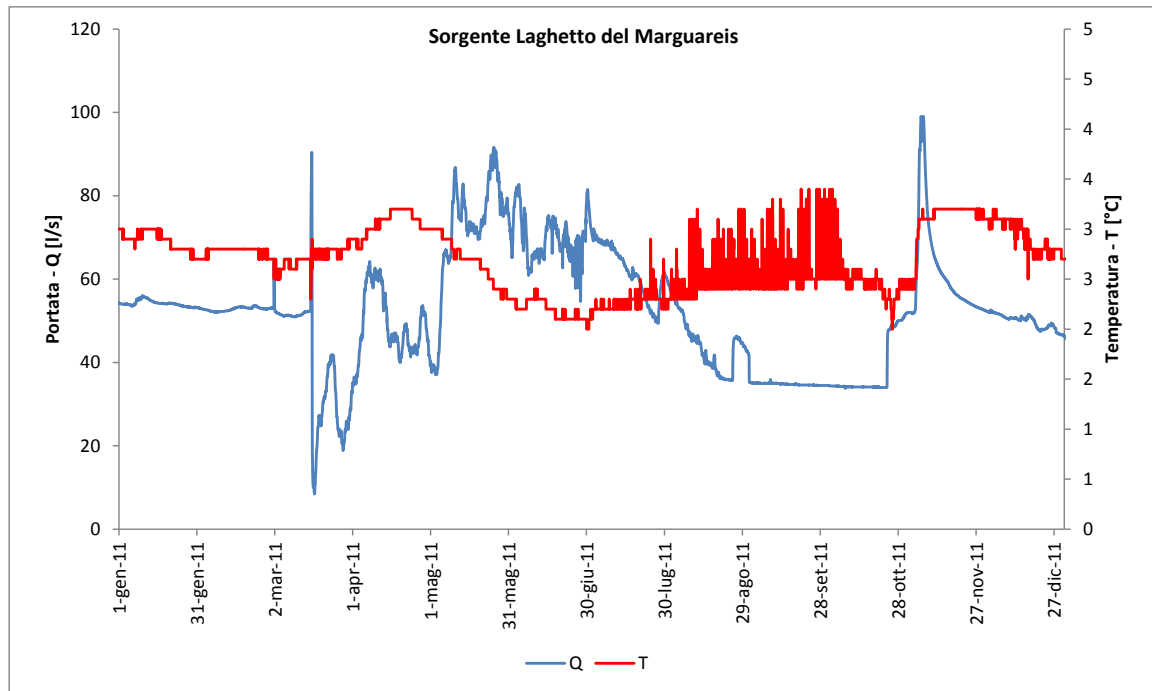


Figura 45: Andamento annuale della portata e della temperatura della Sorgente del Laghetto del Marguareis

7.5.1.3. ANALISI DELLE TEMPERATURE DELLE SORGENTI AD ALIMENTAZIONE PRIMARIA

I grafici riportati in Figura 46e in Figura 47 mostrano il confronto tra le temperature misurate in aria e in acqua nei due sistemi, carsico e poroso, già affrontati nel paragrafo precedente.

Risulta evidente dai confronti come non vi sia una forte correlazione tra l'andamento delle temperature alla sorgente e le temperature misurate in aria. L'andamento delle temperature, specialmente presso la sorgente del Laghetto del Marguareis mostra dei massimi annuali relativi non riconducibili in alcun modo ai massimi delle temperature in aria (19/10/2006, 10/07/2007, 3/12/2007, 15/4/2008, 7/11/2008, 4/4/2009). Questa irregolarità e mancata corrispondenza con le temperature dell'aria è un indicatore dell'alimentazione primaria della sorgente.

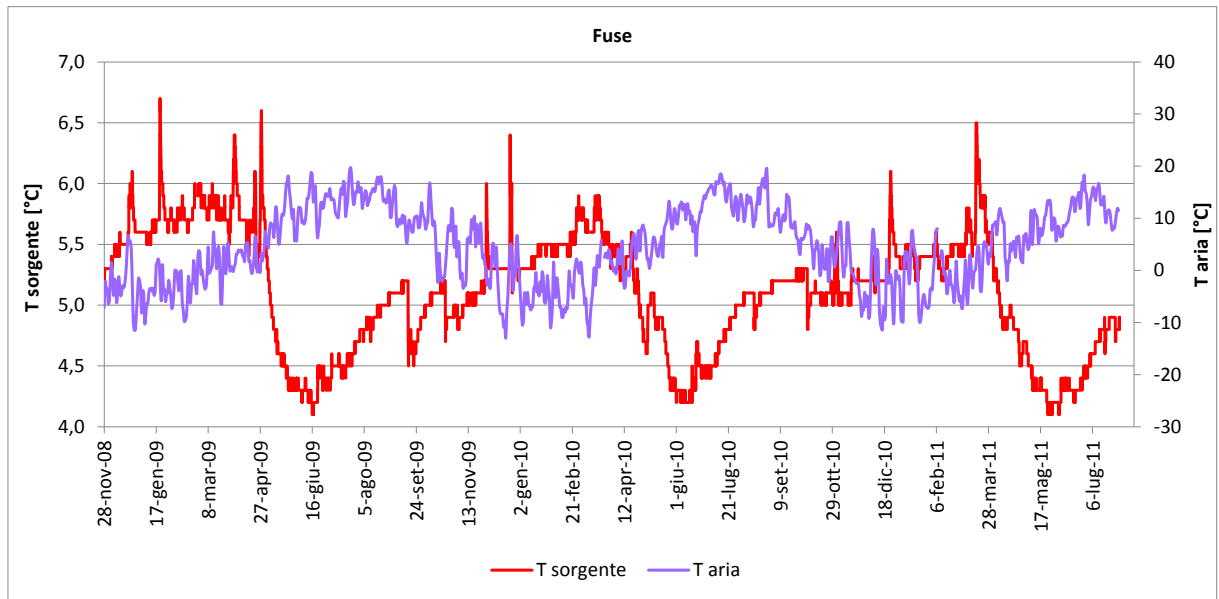


Figura 46: Confronto delle temperature misurate in sorgente e in aria per il sistema delle Fuse

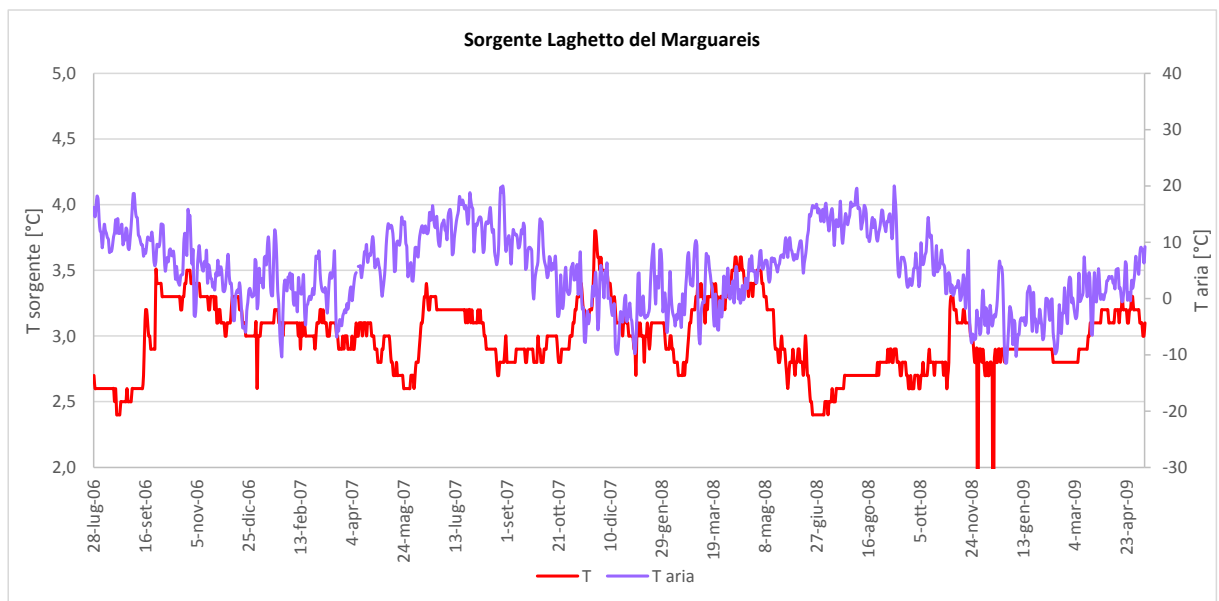


Figura 47: Confronto delle temperature misurate in sorgente e in aria per il sistema del Laghetto del Marguareis

7.5.2. SISTEMI AD ALIMENTAZIONE PRIMARIA E SECONDARIA

I sistemi con alimentazione primaria e secondaria vengono ricaricati sia dagli apporti infiltrativi diretti sull'acquifero sia dalle acque di ruscellamento superficiale provenienti da settori dove sono presenti rocce relativamente poco permeabili ai bordi della struttura acquifera principale. Le acque sorgive di questi sistemi si caratterizzano in genere per valori di mineralizzazione più ridotti rispetto a quelli dei sistemi descritti in precedenza, a causa degli abbondanti apporti di acque con tenori piuttosto bassi in bicarbonati, calcio e magnesio. L'acquifero è, in genere, lateralmente confinato attraverso contatti sub-verticali di tipo stratigrafico o tettonico, da rocce a bassa permeabilità.

Le variazioni nel tempo della portata e della mineralizzazione delle acque sono quindi condizionate dai due differenti tipi di apporti (alimentazione primaria e secondaria).

In molte situazioni nelle aree che bordano le rocce carbonatiche sono presenti acquiferi secondari impostati nelle porzioni maggiormente fratturate dell'ammasso roccioso o nelle coperture detritico-alluvionali. Tali acquiferi, in genere caratterizzati da permeabilità piuttosto ridotte, alimentano sorgenti e piccoli corsi d'acqua con un flusso idrico perenne che contribuiscono quindi in modo continuativo alla ricarica del sistema principale. L'area di alimentazione di questi sistemi è quindi impostata nella porzione costituita dalle rocce carbonatiche e nel bacino imbrifero del reticolato idrografico superficiale che contribuisce alla ricarica del sistema.

7.5.2.1. ACQUIFERO CARSIKO - SISTEMA ALIMENTANTE LA SORGENTE DI BORELLO SUPERIORE

La portata presenta in genere un andamento piuttosto variabile legato al processo di fusione (pesantemente condizionate dalle temperature dell'aria), con blande oscillazioni giornaliere di qualche decina di l/s, appena percettibili sull'idrogramma annuale (Figura 49). La mineralizzazione dell'acqua sorgiva, nonostante la circolazione prevalente impostata nell'ammasso carbonatico, è piuttosto ridotta a causa degli importanti apporti provenienti dai settori del basamento e delle coperture detritico-moreniche ubicati in prossimità dell'area sorgiva. I valori della conducibilità elettrica sono intorno a 180 uS/cm, con variazioni annuali piuttosto contenute.

Anche durante i picchi massimi della portata primaverile, la mineralizzazione delle acque presenta abbassamenti piuttosto modesti raggiungendo valori minimi dell'ordine di ca. 150 uS/cm (Figura 49).

I valori della temperatura delle acque sorgive mostrano un andamento caratterizzato da variazioni annuali piuttosto marcate legate prevalentemente agli apporti provenienti dall'infiltrazione secondaria (Figura 50). In occasione dell'inizio della piena di fusione nivale del marzo 2011 è stato raggiunto il valore di poco superiore a 4° C con temporanei decrementi di quasi 3°C legati ad apporti temporanei di acque superficiali provenienti dagli inghiottitoi del Rio Borello, più prossimi alla zona sorgiva, che si attivano solo in occasione di notevoli precipitazioni o di abbondante fusione nivale. In seguito alle piene autunnali si osservano evidenti e repentini decrementi della temperatura (con un delta massimo di circa 0.5°C) legati al mescolamento tra le acque dell'acquifero e quelle di neo-infiltrazione.

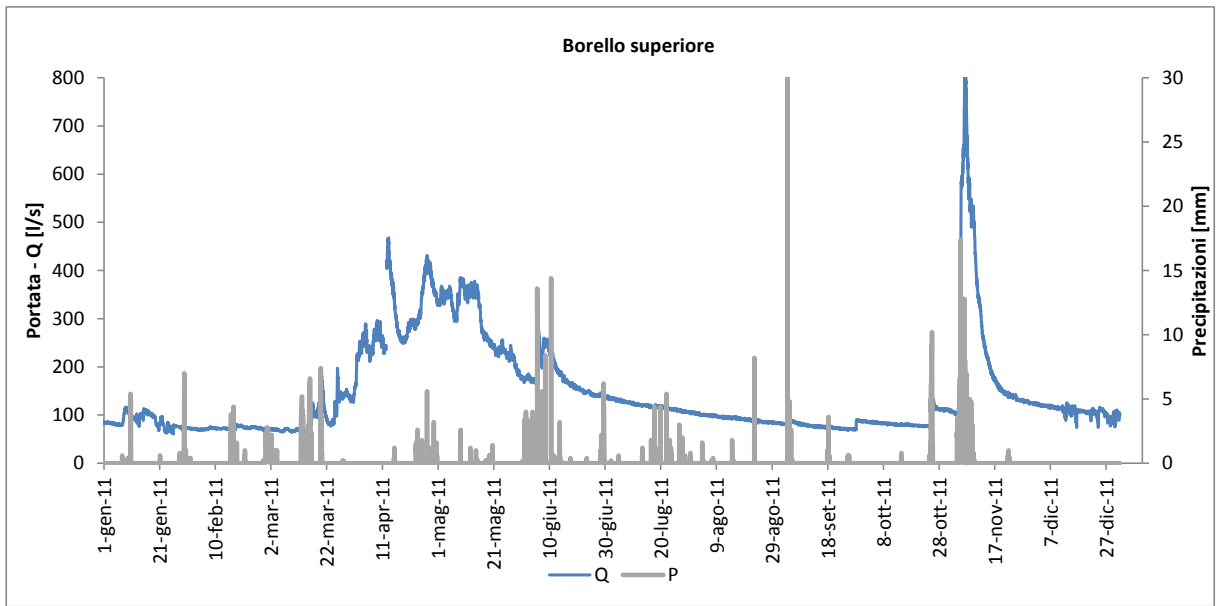


Figura 48: Andamento annuale della portata correlato con le precipitazioni presso la sorgente di Borello Superiore

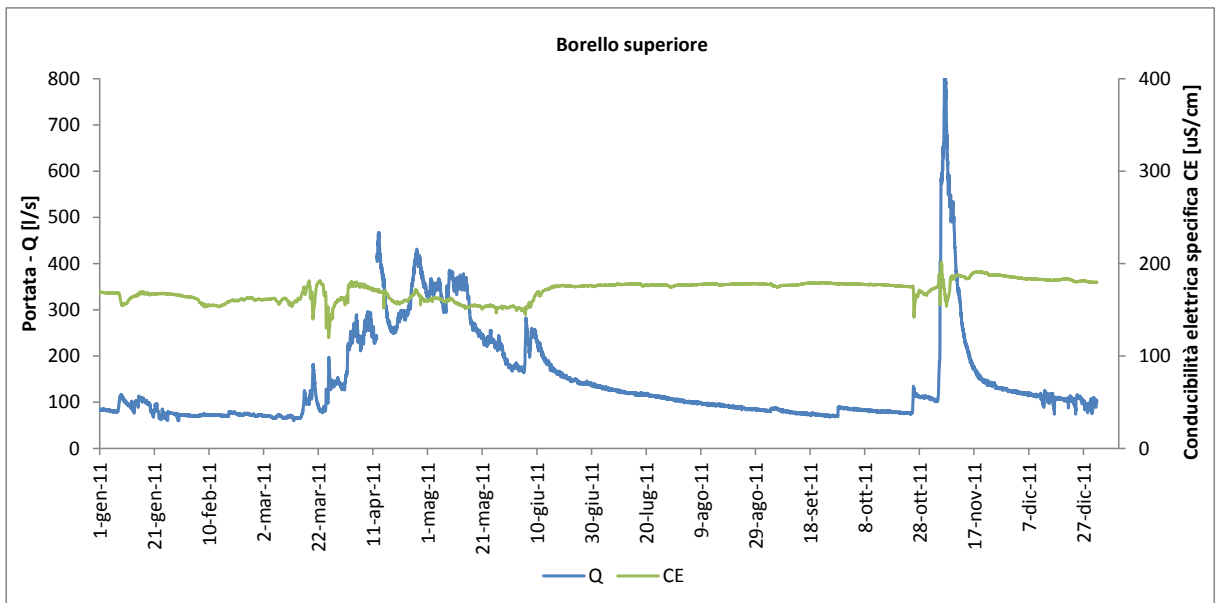


Figura 49: Andamento della portata e della conducibilità elettrica presso la sorgente di Borello Superiore

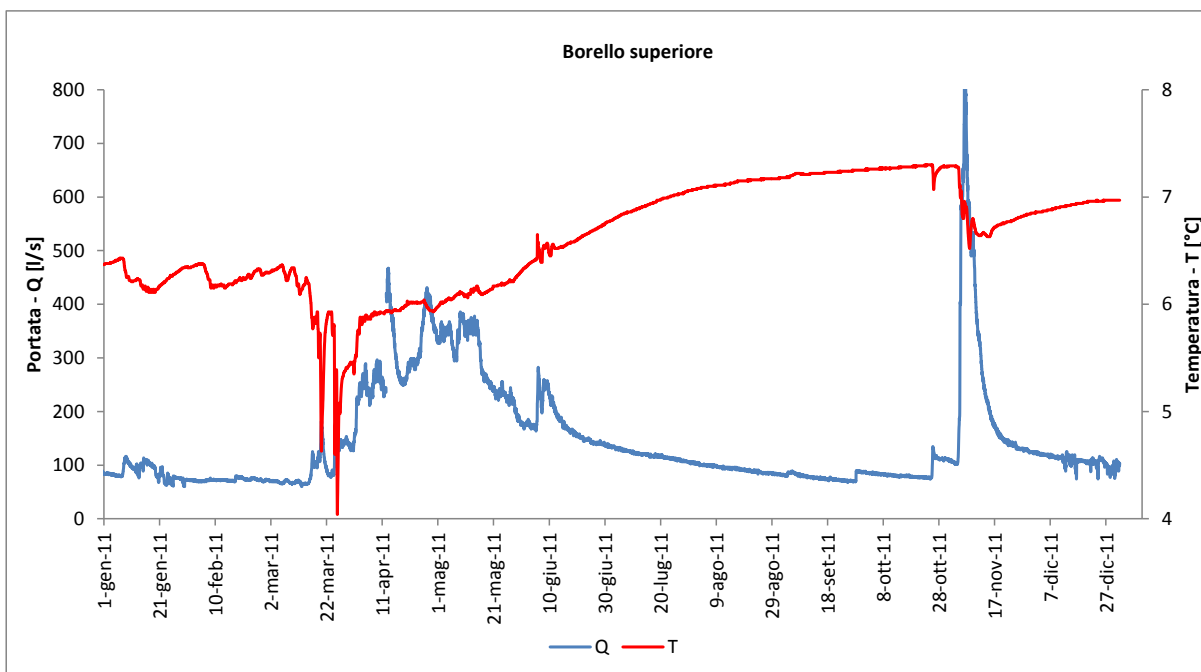


Figura 50: Andamento annuale della portata e della temperatura della Sorgente di Borello superiore

7.5.2.2. ACQUIFERO POROSO – SISTEMA ALIMENTANTE LA SORGENTE DI BALMETTA

L’acquifero poroso alimentante la sorgente Balmetta è un esempio dell’alimentazione primaria e secondaria. Dai grafici di Figura 51 e Figura 52 è possibile notare come la conducibilità elettrica abbia un comportamento a sostituzione prevalente con bruschi abbassamenti in corrispondenza degli aumenti della portata (es. settembre e novembre) anche di oltre 60 uS/cm.

L’andamento della temperatura (Figura 53) mostra un comportamento simile a quello già descritto per il sistema carsico di Borello superiore con valori di ca. 7,5 °C nel periodo invernale che decrescono durante le piene primaverili fino a raggiungere i minimi annuali pari ca. a 6 °C. Il picco massimo di temperatura annuale viene raggiunto durante la stagione autunnale e si attesta di poco sopra agli 8°C.

I dati, su scala annuale, seppur utili ai fini della comprensione del sistema che alimenta la sorgente non rivelano molte informazioni sul tipo di alimentazione.

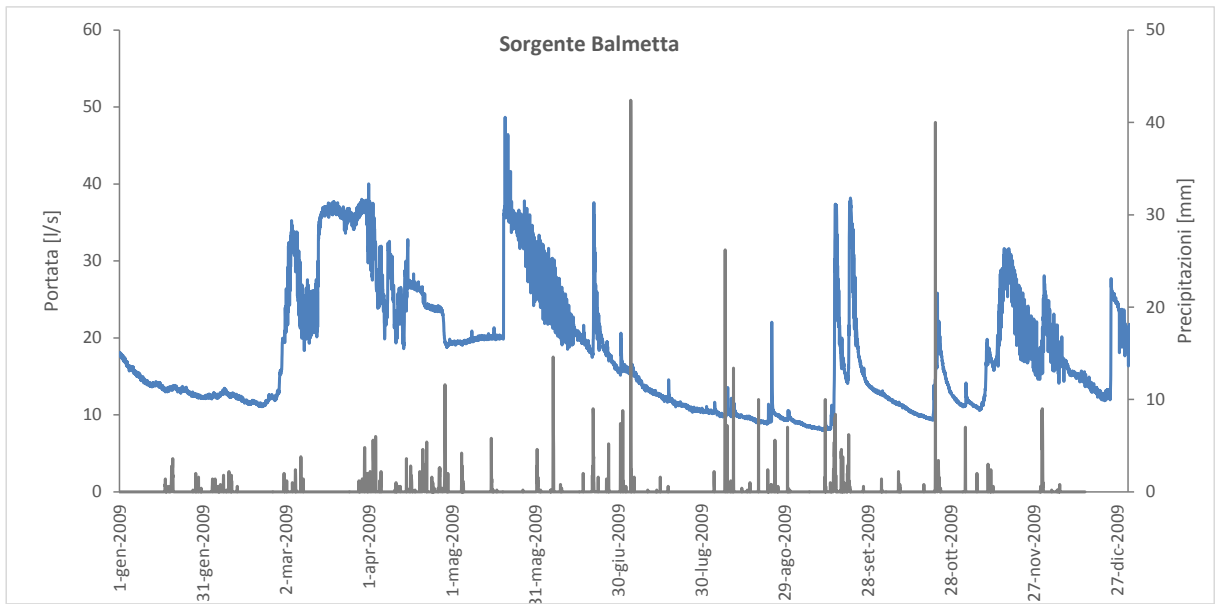


Figura 51: Andamento annuale della portata correlato con le precipitazioni presso la sorgente di Balmetta

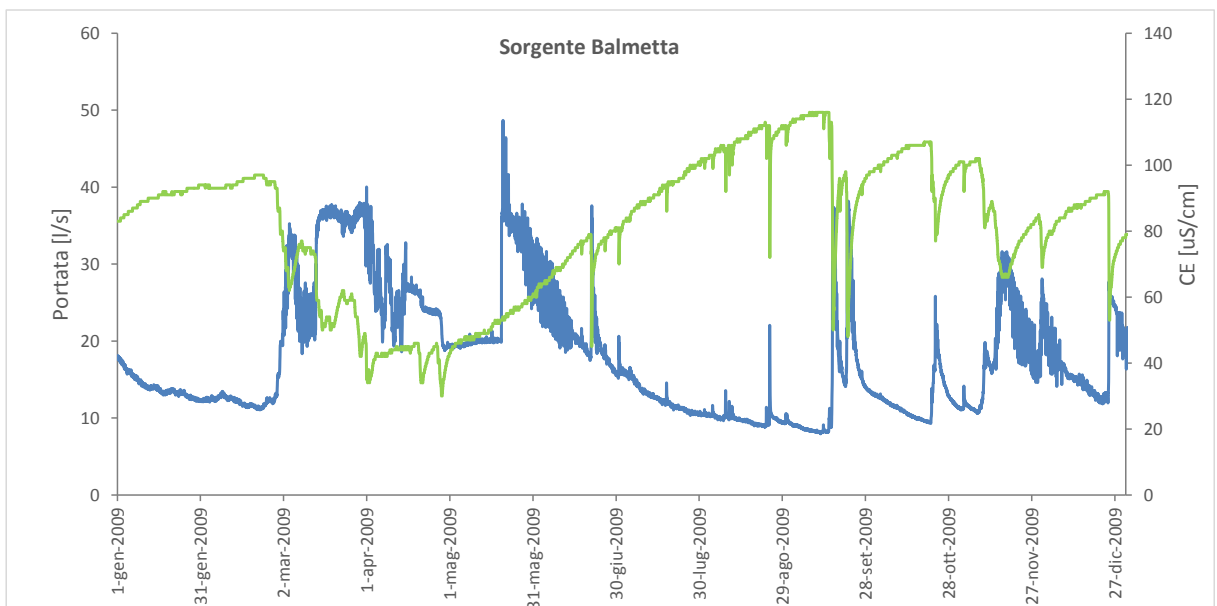


Figura 52: Andamento della portata e della conducibilità elettrica presso la sorgente di Balmetta

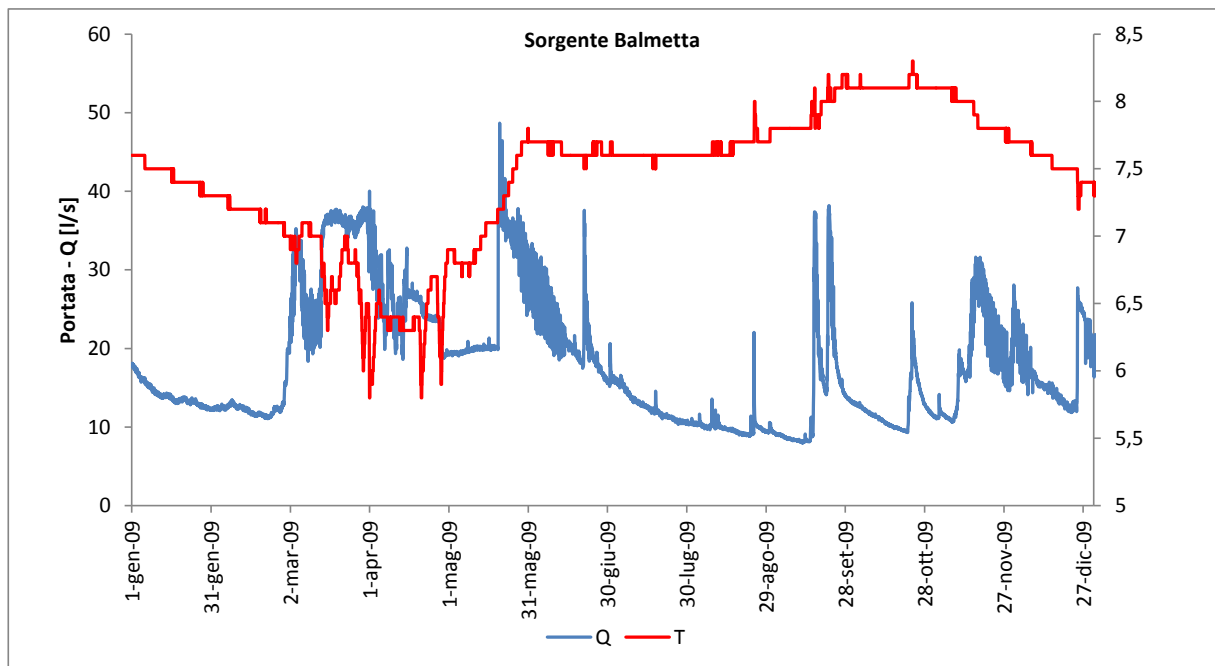


Figura 53: Andamento annuale della portata e della temperatura della Sorgente del Laghetto del Marguarais

7.5.2.1. ANALISI DELLE TEMPERATURE DELLE SORGENTI AD ALIMENTAZIONE PRIMARIA E SECONDARIA

L'analisi dei dati pluriannuali di temperatura in aria e presso la sorgente permette di ricavare molte informazioni che, dal solo dato annuale non emergono. Nei grafici di Figura 54 e Figura 55 è interessante notare la forte corrispondenza tra le temperature misurate alla sorgente e le temperature dell'aria: gli andamenti delle temperature misurate in acqua risultano simili a quelli delle temperature misurate in aria ma traslate di qualche mese. Presso la sorgente di Borello superiore, emergenza di un sistema di tipo carsico, i massimi si misurano al 29/09/2010, 01/11/11, 03/09/12 e al 4/10/13 mentre, come ci si aspettava, i massimi delle temperature atmosferiche si registrano principalmente durante il mese di agosto.

Anche nel sistema poroso di Balmetta il comportamento delle temperature è analogo, ed anche più regolare con massimi di temperatura in acqua nei mesi di ottobre 2006, ottobre 2007, ottobre 2008 e ottobre 2009 che quindi risultano sfasati di tre mesi rispetto alle temperature misurate in aria.

I minimi annuali, in entrambi i sistemi, si registrano nel periodo compreso tra fine marzo e inizio aprile.

La forte correlazione tra le temperature evidenzia molto bene la componente di alimentazione secondaria e lo sfasamento rispetto alle temperature in aria è probabilmente legato alla capacità di immagazzinamento dell'acquifero che ha l'effetto sia di ridurre la temperatura sia di "ritardare" l'arrivo delle acque alla sorgente.

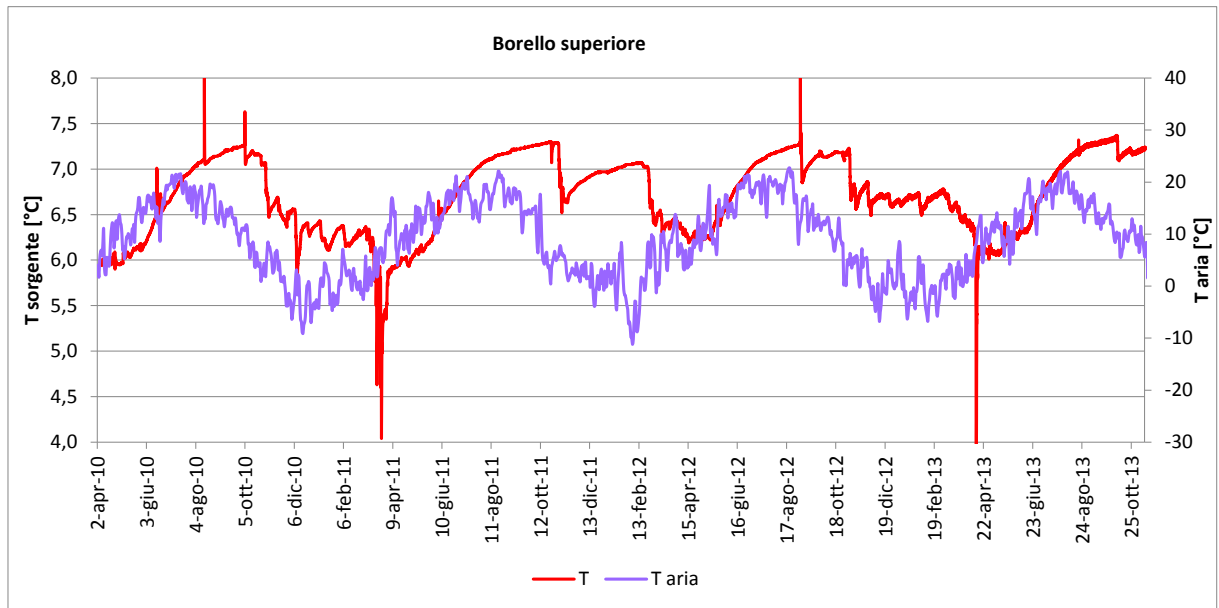


Figura 54: Confronto delle temperature misurate in sorgente e in aria per il sistema di Borello superiore

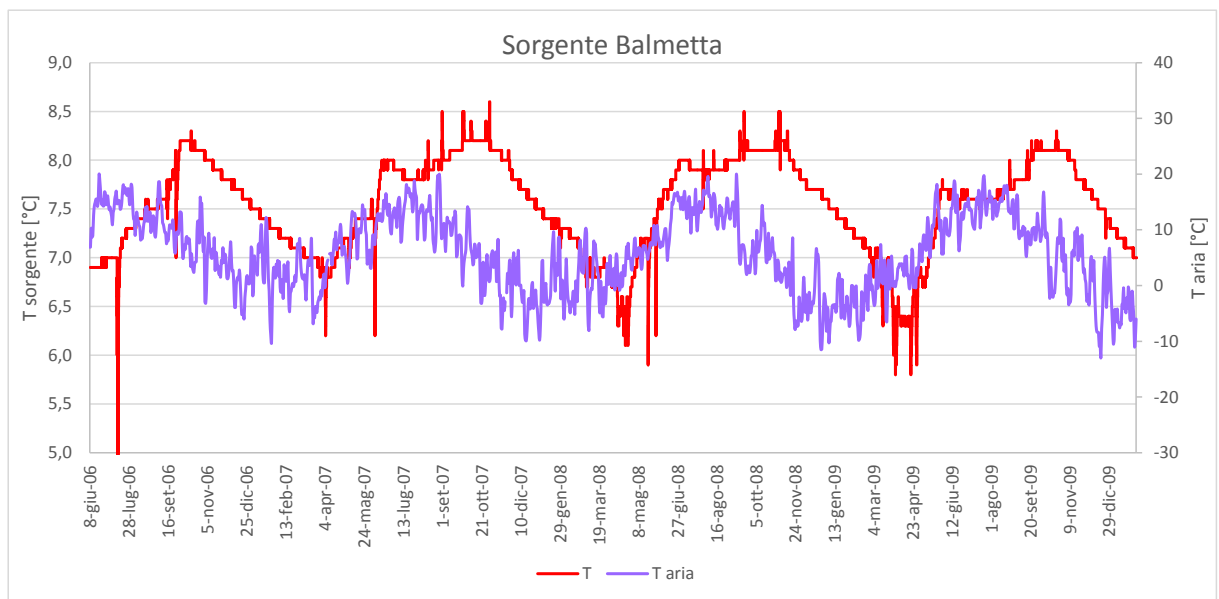


Figura 55: Confronto delle temperature misurate in sorgente e in aria per il sistema di Balmetta

7.5.3. SISTEMI AD ALIMENTAZIONE SECONDARIA PREVALENTE

I sistemi con alimentazione secondaria prevalente sono in genere ubicati in prossimità dei fondovalle dove si trovano importanti corsi d'acqua che scorrono, per tratti più o meno lunghi, sulle rocce poco permeabili. Questi correvi, quando intercettano le porzioni dell'ammasso roccioso caratterizzate da permeabilità elevate, presentano in genere perdite progressive in subalveo che possono essere, nelle stagioni asciutte, totali o parziali. Le sorgenti, alimentate da questi sistemi, vengono quindi prevalentemente ricaricate dalle perdite dei corsi d'acqua superficiali che condizionano quindi pesantemente la portata, in genere piuttosto elevata e relativamente costante, il chimismo e la qualità delle acque sorgive (legata di conseguenza a quella delle acque superficiali).

Nei paragrafi seguenti verranno illustrati due esempi relativi ad acquiferi ad alimentazione secondaria prevalente. Di questi sistemi acquiferi riportati si dispone sia dei dati chimico fisici all'emergenza e sia dei dati relativi al corpo idrico superficiale che alimenta la sorgente.

La correlazione dei dati permette una visione piuttosto chiara del sistema di alimentazione dell'acquifero in esame.

7.5.3.1. ACQUIFERO CARSIICO - SISTEMA ALIMENTANTE LA SORGENTE DEL BANDITO

Il sistema carsico alimentante la sorgente del Bandito è un sistema ad alimentazione secondaria prevalente. L'apporto di tipo secondario deriva dal Torrente Gesso.

Confrontando i dati rilevati presso il Torrente Gesso e alle Sorgenti del Bandito, anche se per un periodo molto breve (circa 4 mesi), risulta evidente lo stretto legame esistente tra le acque superficiali e quelle sorgive. L'andamento dei livelli del T. Gesso e quello delle Sorgenti del Bandito è molto simile (Figura 56) anche se le variazioni del corso d'acqua risultano essere più impulsive e con una curva di decremento decisamente più acclive. Anche i dati della conducibilità elettrica dei due punti di monitoraggio confermano l'esistenza di un sistema con alimentazione secondaria prevalente legata direttamente alle perdite in sub-alveo del T. Gesso con un andamento della mineralizzazione delle acque superficiali e sorgive del tutto simili (Figura 57).

Estremamente significativo è anche il trend della temperatura delle acque (misurato con acquisitori con risoluzione del centesimo di grado): sono molto evidenti le oscillazioni giornaliere dei valori delle acque superficiali (condizionato ovviamente dagli sbalzi termici giorno-notte che soprattutto nella stagione estiva sono molto pronunciati) mentre le acque sotterranee presentano variazioni molto più contenute (Figura 58).

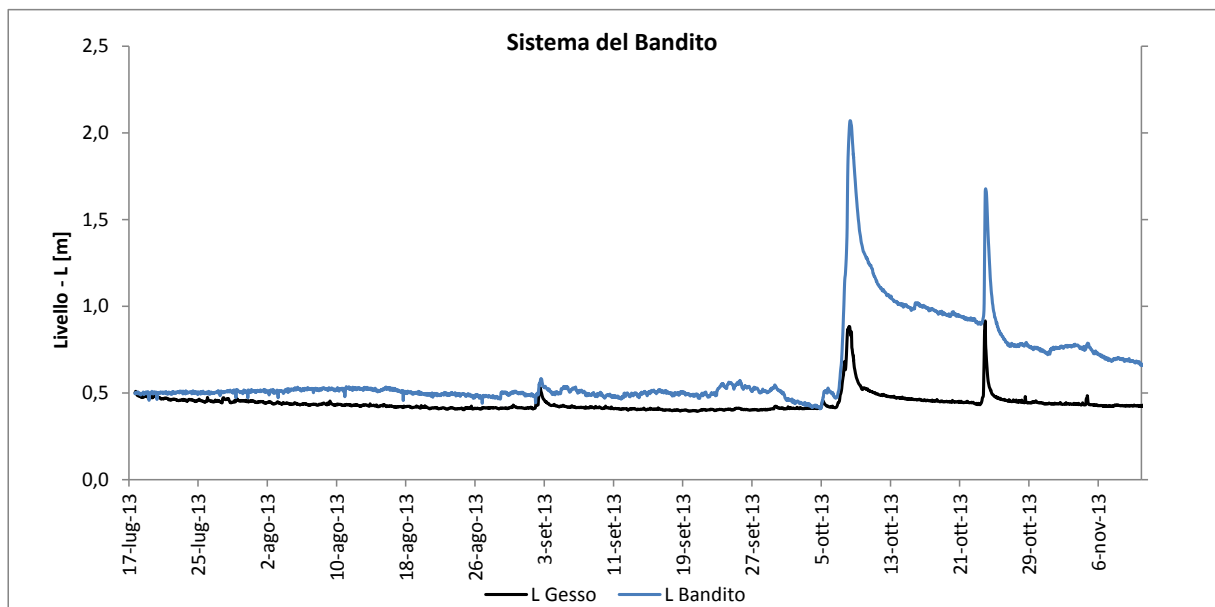


Figura 56: Confronto degli andamenti dei livelli idrici del T. Gesso e delle Sorgenti del Bandito

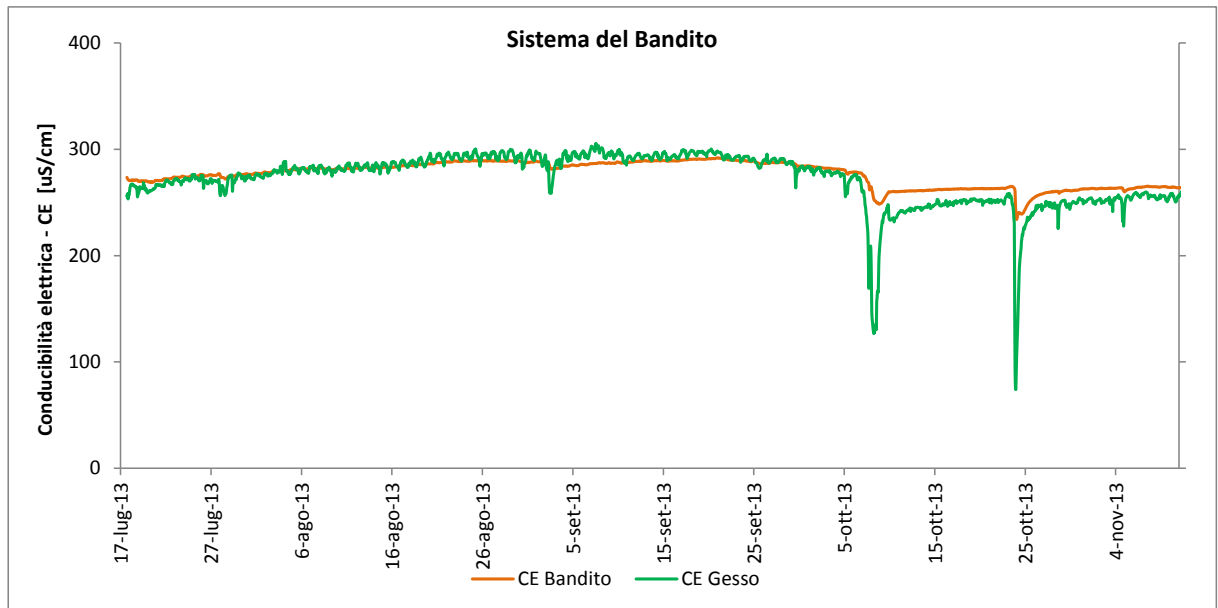


Figura 57: Confronto degli andamenti della conducibilità elettrica delle acque del T. Gesso e delle Sorgenti del Bandito

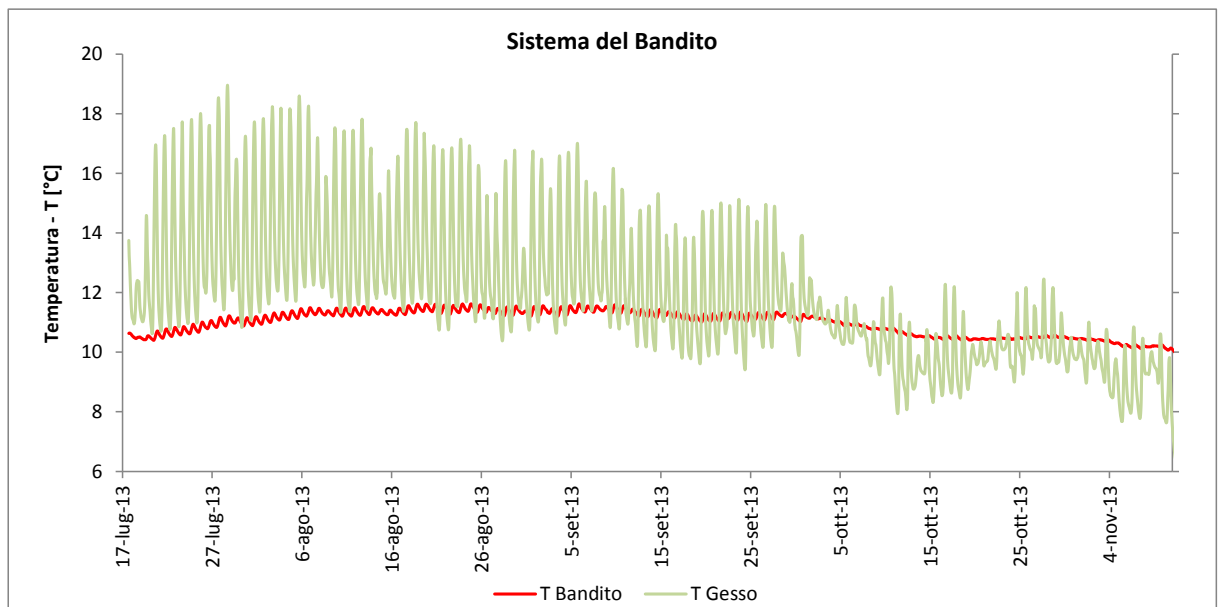


Figura 58: Confronto degli andamenti della temperatura delle acque del T. Gesso e delle Sorgenti del Bandito

7.5.3.2. ACQUIFERO POROSO - SISTEMA ALIMENTANTE LA SORGENTE DI BORELLO INFERIORE

L'acquifero poroso alimentante la sorgente di Borello inferiore è un esempio significativo di alimentazione secondaria prevalente.

Se si osserva il grafico annuale di portata e temperatura si osserverà un andamento stagionale della temperatura che risente in maniera minima delle variazioni di portata.

I dati di monitoraggio relativi alla sorgente e al Torrente Corsaglia evidenziano in maniera chiara questo fenomeno: gli andamenti del livello, della conducibilità elettrica e della temperatura si rivelano del tutto simili (Figura 59, Figura 60 e Figura 61)

Così come nell'esempio precedente, relativo ad un sistema carsico, anche in questo caso si riscontrano simultanee variazioni nei livelli con curve di decremento più acclivi per quanto riguarda il corso d'acqua.

Le temperature del Torrente Corsaglia denotano variazioni giornaliere che non si ravvisano nella sorgente ma è palese la similitudine di tale parametro nell'andamento complessivo.

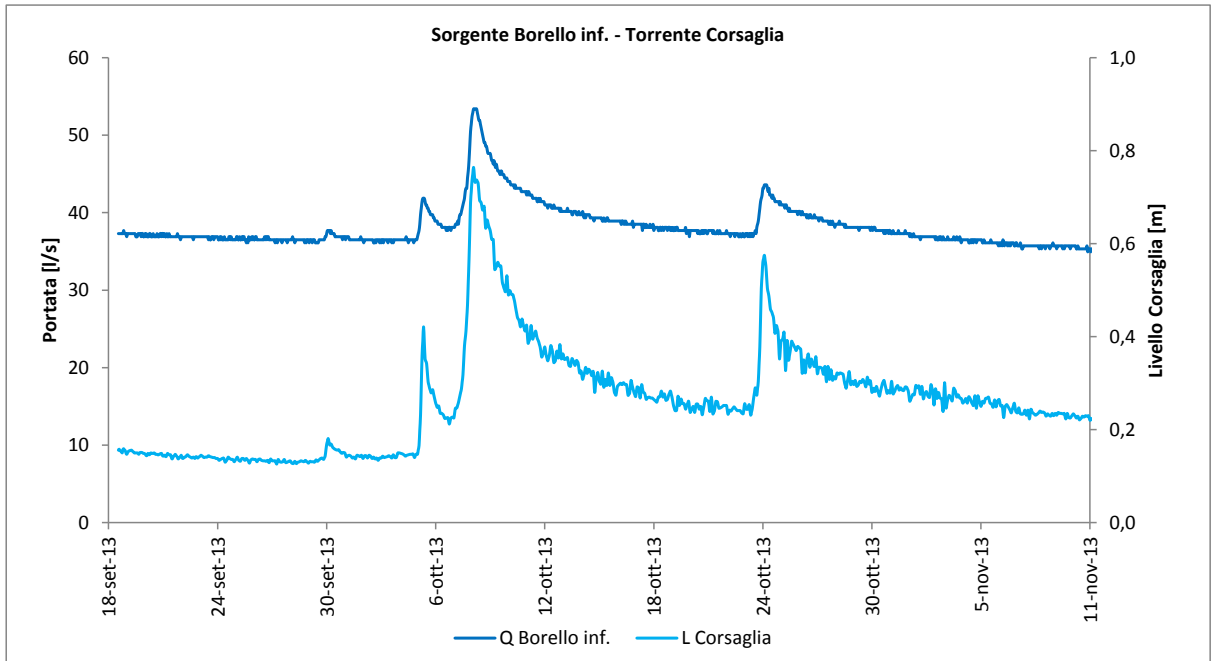


Figura 59: Confronto degli andamenti dei livelli idrici del T. Corsaglia e della Sorgente di Borello Inferiore

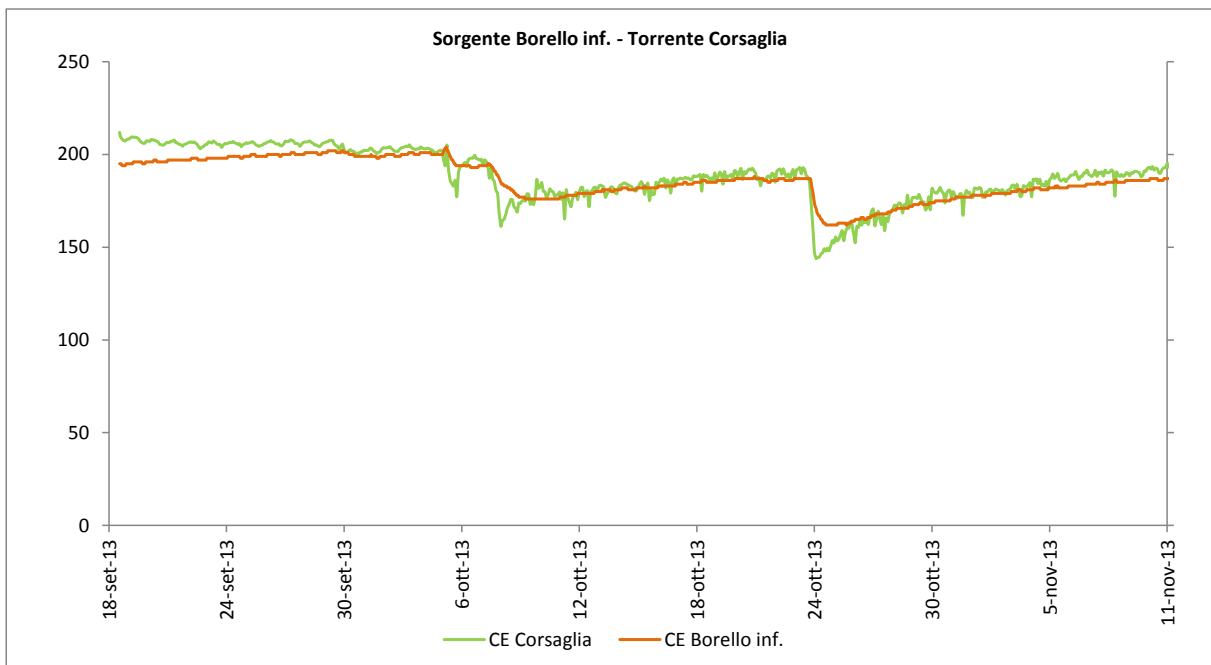


Figura 60: Confronto degli andamenti della conducibilità elettrica delle acque del T. Corsaglia e della Sorgente di Borello Inferiore

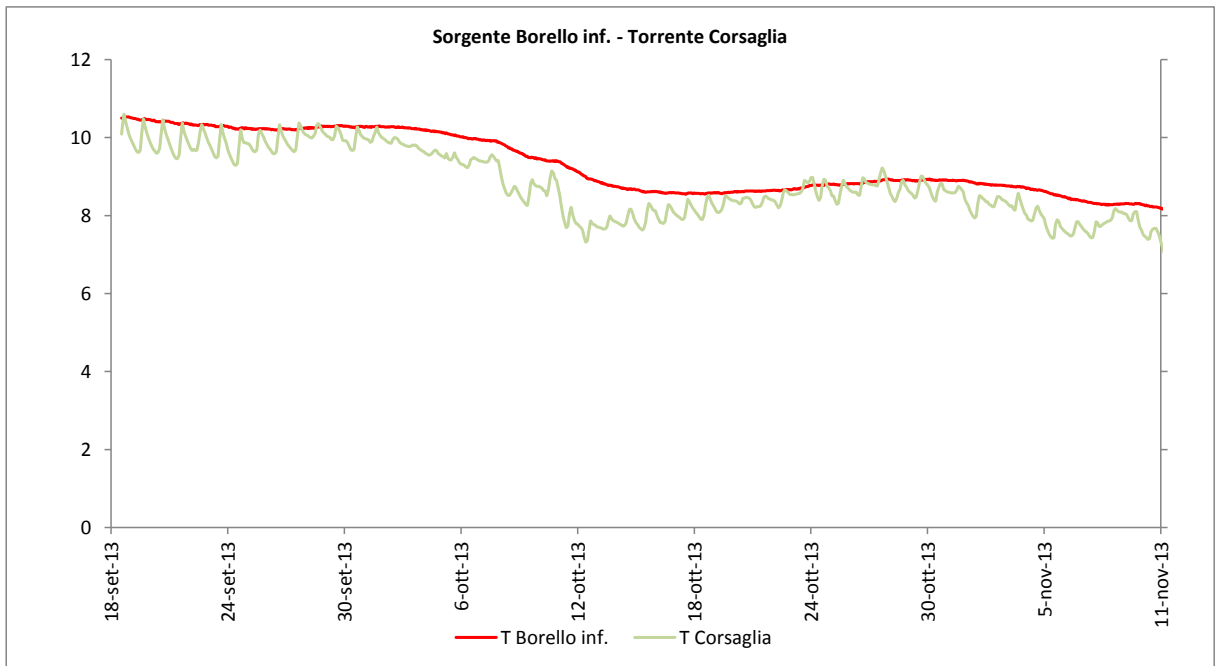


Figura 61: Confronto degli andamenti della temperatura delle acque del T. Corsaglia e della Sorgente di Borello Inferiore

7.5.3.1. ANALISI DELLE TEMPERATURE DELLE SORGENTI AD ALIMENTAZIONE SECONDARIA

I grafici di Figura 62 e Figura 63 mostrano l'andamento annuale (diversamente dalle altre sorgenti fin ora descritte non si dispone di dati pluriannuali continui) delle temperature rivelate in aria e presso la sorgente nei sistemi di Bandito e Borello inferiore: è possibile notare come gli andamenti abbiano una forte corrispondenza e stagionalità. I massimi di temperatura presso la sorgente si registrano in corrispondenza del periodo di agosto e i minimi nel periodo invernale. Come già descritto nei paragrafi precedenti è evidente l'andamento smorzato delle temperature presso la sorgente rispetto alle temperature misurate in aria seppur il trend generale sia del tutto analogo.

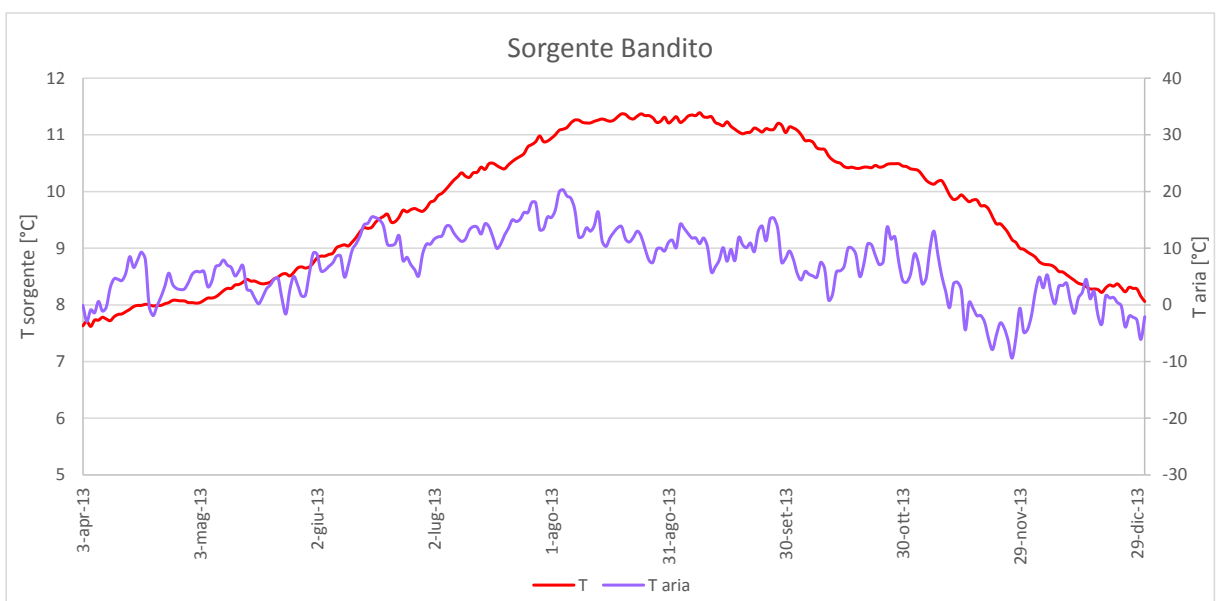


Figura 62: Confronto delle temperature misurate in sorgente e in aria per il sistema di Bandito

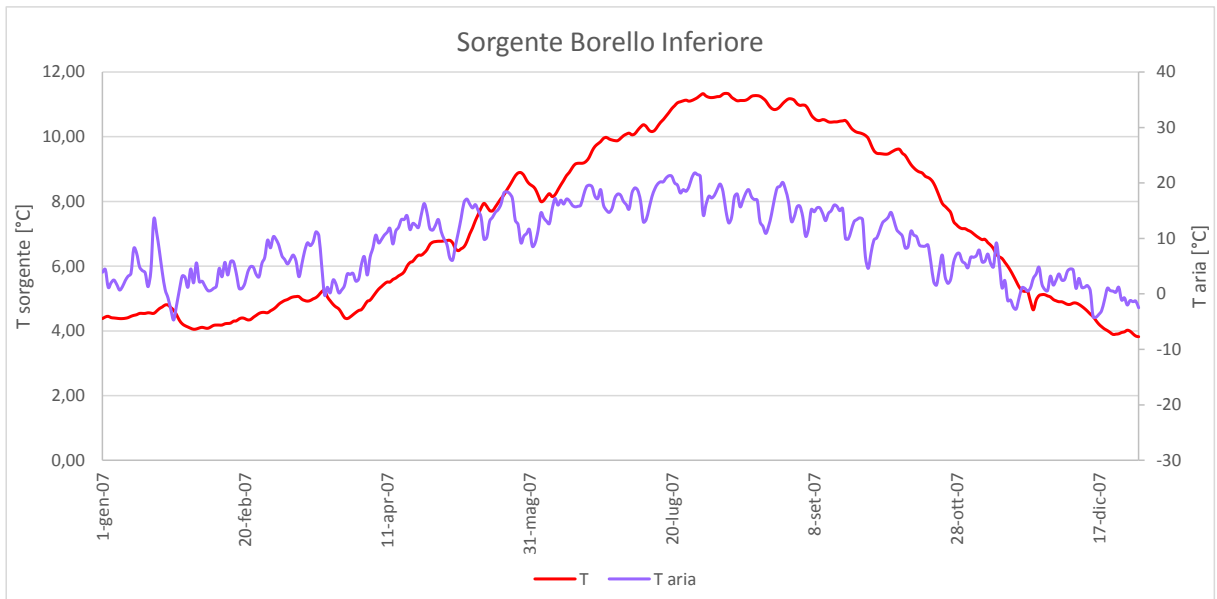


Figura 63: Confronto delle temperature misurate in sorgente e in aria per il sistema di Borello inferiore

8. CASI STUDIO

8.1. L'ACQUIFERO IMPOSTATO NEI GESSI DI MONCALVO

8.1.1. PREMESSA

Il caso studio relativo all'acquifero impostato nei gessi di Moncalvo ha permesso di affrontare e/o di venire in diretto contatto con alcune delle principali interferenze che si possono verificare durante lo scavo di un'opera sotterranea. Volendo sintetizzare, le interferenze sono state:

- Intercettazione di condotti carsici saturi d'acqua – inrush (avvenuto in data 15/02/2005)
- Venute derivanti dall'intercettazione di fratture
- Presenza di radon: nel periodo dal 12/10/2012 al 14/11/2013 si sono registrati puntualmente elevati livelli di radon in aria

Le azioni intraprese per la conoscenza e la successiva gestione di tali interferenze sono state:

- Configurazione di una rete di monitoraggio e controllo
 - Dei livelli piezometrici effettuata attraverso sia misure manuali sia misure con acquisitori automatici
 - Chimico – fisico realizzata mediante analisi in situ (T, pH, Eh, ossigeno disciolto) e campionamenti con successive analisi in laboratorio sulla concentrazione degli ioni disciolti (Calcio, Magnesio, Bicarbonato, Solfati, Cloruri, Sodio, Potassio, Nitrati, metallici)
- Definizione del modello concettuale alla base dell'organizzazione del flusso dell'acquifero: sulla base dei dati di monitoraggio acquisiti è stato possibile capire il modello concettuale di flusso a cui l'acquifero impostato nei gessi di Moncalvo risponde.

Per quanto riguarda il radon si proseguirà con il monitoraggio per studiare l'andamento della concentrazione di tale parametro nel tempo.

Nei prossimi paragrafi verranno dettagliate le interferenze e le azioni intraprese per la gestione e lo studio di tale acquifero.

8.1.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La cava "Monferrato" della Società Fassa Bortolo s.r.l. è ubicata a SW dell'abitato di Moncalvo, in località Gessi (Figura 64). Un tempo la cava era sfruttata a cielo aperto in cui si osservano chiaramente tre orizzonti di gesso sovrapposti, intercalati da livelli marnosi di potenza metrica. Questi 3 orizzonti, sono potenti dal più superficiale rispettivamente 13 m, 13 m e 10 m.



Figura 64: Ubicazione delle cava "Monferrato" nel comune di Moncalvo (AT)

L'area di studio è compresa nel Foglio Geologico 157 di recente pubblicazione (APAT,2004), tale foglio, rilevato alla scala 1:10.000 è stato successivamente restituito alla scala 1:50.000; di seguito viene fornito uno stralcio della cartografia alla scala 1:10.000 (Arpa Piemonte,2004) (Figura 65).

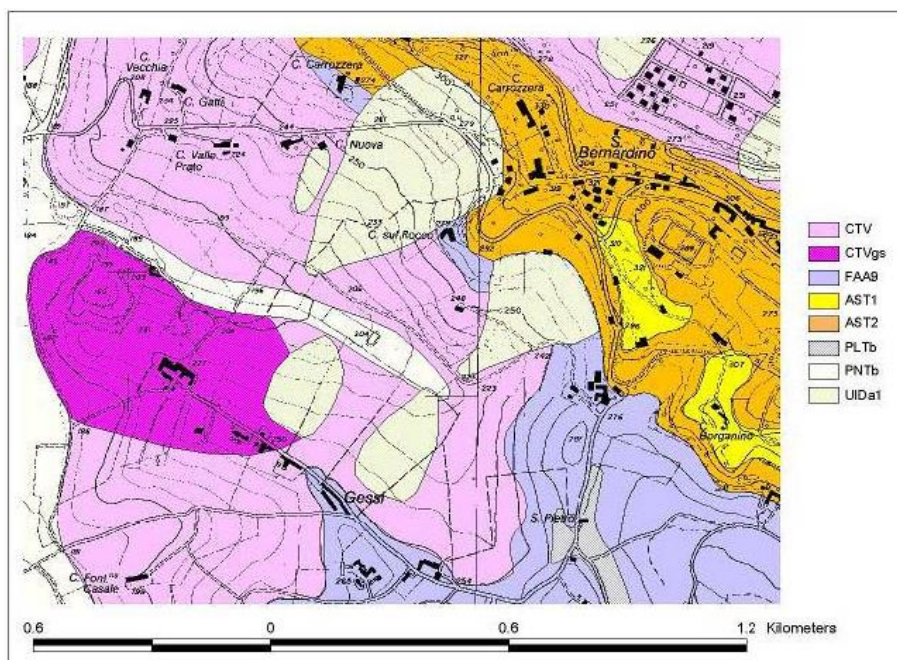


Figura 65: Stralcio del Foglio Geologico 157 Trino, non in scala (APAT, 2004)

Nell'area affiorano quasi esclusivamente i sedimenti riferibili al Complesso caotico della Valle Versa (conosciuti in letteratura come Formazione gessoso-solfifera, Bonsignore & al.,1969), costituito da un insieme caotico di sedimenti e blocchi conservati in una matrice (CTV),e costituita nell'area di studio da marne siltose biancastre con scarsa frazione organogena. All'interno di tale matrice le varie