

L'INQUINAMENTO DA PFAS IN VENETO L'APPLICAZIONE DELLA MODELLISTICA NUMERICA IN UN CASO DI INQUINAMENTO A SCALA REGIONALE

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto
geol. Giovanni Onofrio, geol. Massimo Mazzola, dott.ssa Roberta Cappellin, geol. Lucio D'Alberto

Torino, 14-15 Ottobre 2015



Italian DHI Conference 2015

PUNTI TRATTATI

- L'inquinamento da PFAS in Veneto - premessa
- Idrogeologia del territorio - cenni
- Applicazione della modellistica numerica
- Aspetti dell'implementazione
- Conclusioni

PREMESSA

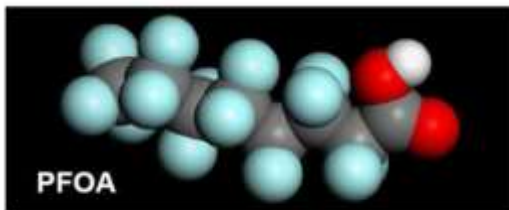
- Uno studio condotto da IRSA-CNR nel bacino del Po e nei principali bacini fluviali italiani (2011 – 2013) evidenziò la presenza di sostanze perfluoroalchiliche (PFAS) in diversi corpi idrici superficiali e nei punti di erogazione delle acque potabili di alcuni comuni in provincia di Vicenza. A fine maggio 2013 il Ministero dell'Ambiente chiese ad ARPAV di effettuare gli accertamenti necessari all'individuazione delle fonti di pressione.
- ARPAV in collaborazione con le altre strutture della Regione iniziava le indagini necessarie alla delimitazione dell'inquinamento e all'individuazione delle relative fonti di immissione.
- Dopo le prime indicazioni che interpretavano la zona di origine (leakage) del plume inquinante in un'area a nord ovest di Vicenza (media valle dell'Agno in comune di Trissino), un progressivo affinamento dei controlli nelle acque di falda, nei corsi d'acqua e negli scarichi ha permesso di individuare la possibile origine dell'inquinamento in un'area di pertinenza di stabilimento chimico della zona.

PFAS = *PerFluoroAlkylated Substances*

- Con l'acronimo **PFAS** (sostanze perfluoroalchiliche) si intendono una famiglia di composti chimici costituiti da catene di atomi di carbonio a lunghezza variabile, lineari o ramificate, legate ad atomi di fluoro e ad altri gruppi funzionali; il legame carbonio-fluoro rende queste molecole particolarmente resistenti all'idrolisi, alla fotolisi e alla degradazione microbica e quindi particolarmente persistenti nell'ambiente nonché ottimi repellenti per acqua, polvere, oli.



STRUTTURA CHIMICA



SINGOLI INQUINANTI DELLA FAMIGLIA DEI PFAS

Acronimo	Nome	Formula
PFBA	acido perfluoro-butanoico	$\text{C}_4\text{HF}_7\text{O}_2$
PFPeA	acido perfluoro-pentanoico	$\text{C}_5\text{HF}_9\text{O}_2$
PFHxA	acido perfluoro-n-esanoico	$\text{C}_6\text{HF}_{11}\text{O}_2$
PFHpA	acido perfluoro-n-eptanoico	$\text{C}_7\text{HF}_{13}\text{O}_2$
PFOA	acido perfluoro-ottanoico o "C8"	$\text{C}_8\text{HF}_{15}\text{O}_2$
PFNA	acido perfluoro-n-nonanoico	$\text{C}_9\text{HF}_{17}\text{O}_2$
PFDeA	acido perfluoro-n-decanoico	$\text{C}_{10}\text{HF}_{19}\text{O}_2$
PFUnDA	acido perfluoro-n-undecanoico	$\text{C}_{11}\text{HF}_{21}\text{O}_2$
PFDoDA	acido perfluoro-dodecanoico	$\text{C}_{12}\text{HF}_{23}\text{O}_2$
PFBS	acido perfluoro-butansolfonico	$\text{C}_4\text{HF}_9\text{O}_3\text{S}$
PFHxS	acido perfluoro-esansolfonico	$\text{C}_6\text{HF}_{13}\text{O}_3\text{S}$
PFOS	acido perfluoro-ottansolfonico	$\text{C}_8\text{HF}_{17}\text{O}_3\text{S}$

PFAS = *PerFluoroAlkylated Substances*

- I PFAS sono utilizzati principalmente per rendere resistenti ai grassi e all'acqua materiali quali tessuti (per es. Gore-Tex®), tappeti, pelli, carta, rivestimenti per contenitori per alimenti (es. Teflon® nelle pentole antiaderenti, sacchetti per popcorn da microonde), possono essere presenti inoltre nelle schiume antincendio, in pitture e vernici.



Di particolare interesse, nell'ottica della salute e dell'ambiente, sono i composti a catena lunga (con più di 6 atomi di carbonio per quelli con gruppo solfonico e con più di 8 atomi per quelli con gruppo carbossilico) in quanto si sono dimostrati essere maggiormente bioaccumulabili rispetto agli omologhi a catena corta.

PFOS (Perfluorooctasolfonato) e PFOA (Acido perfluorooctanoico) sono i due composti a catena lunga maggiormente riportati e discussi nella letteratura scientifica. **In particolare il PFOS è stato incluso nel 2009 tra gli inquinanti organici persistenti (POPs) e di conseguenza soggetto a restrizioni d'uso e sostituito nelle produzioni industriali da altri PFAS.**

Indicazione Istituto Superiore di
Sanità n. 0019993 del
11/08/2015; prot. 11/08/2015-
0024565

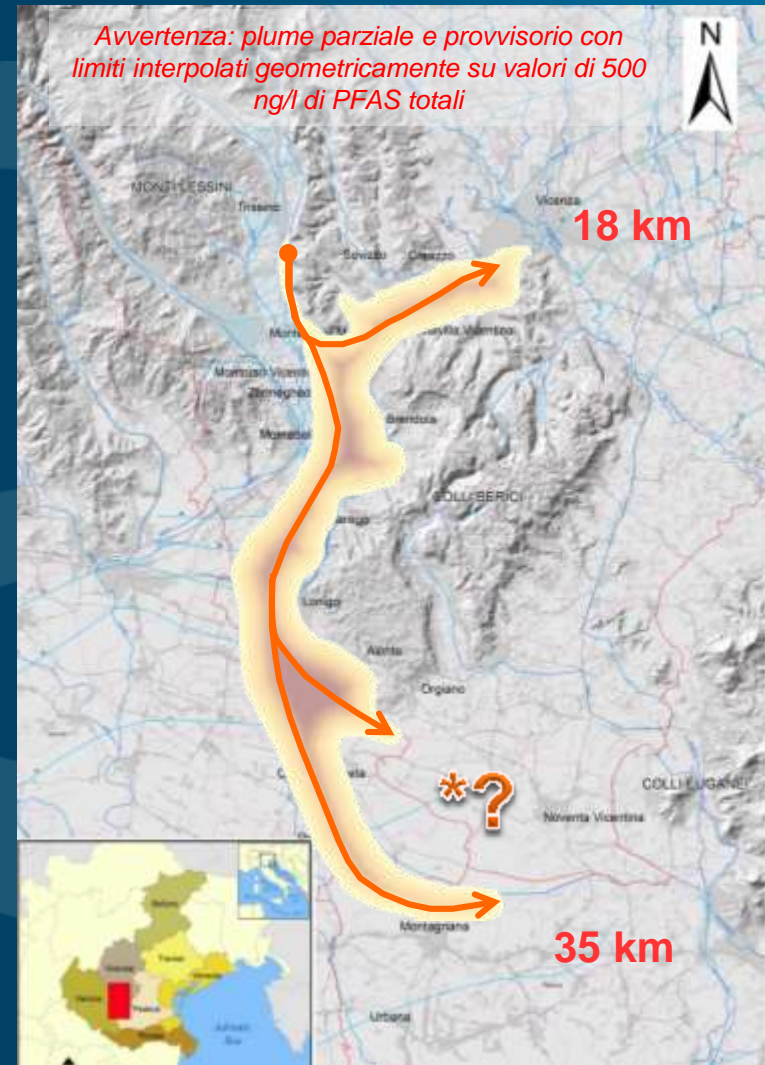
Limiti acque potabili (ng/l)	
PFBA	500
PFBS	500
PFOS	30
PFOA	500
Altri PFAS	500

ORIGINE e DELIMITAZIONE PROVVISORIA DELL'INQUINAMENTO

L'origine è da ricercarsi in una industria chimica che produce queste sostanze da più di 40 anni. Dalle indagini svolte si può affermare che la contaminazione ha seguito due vie di propagazione principali:

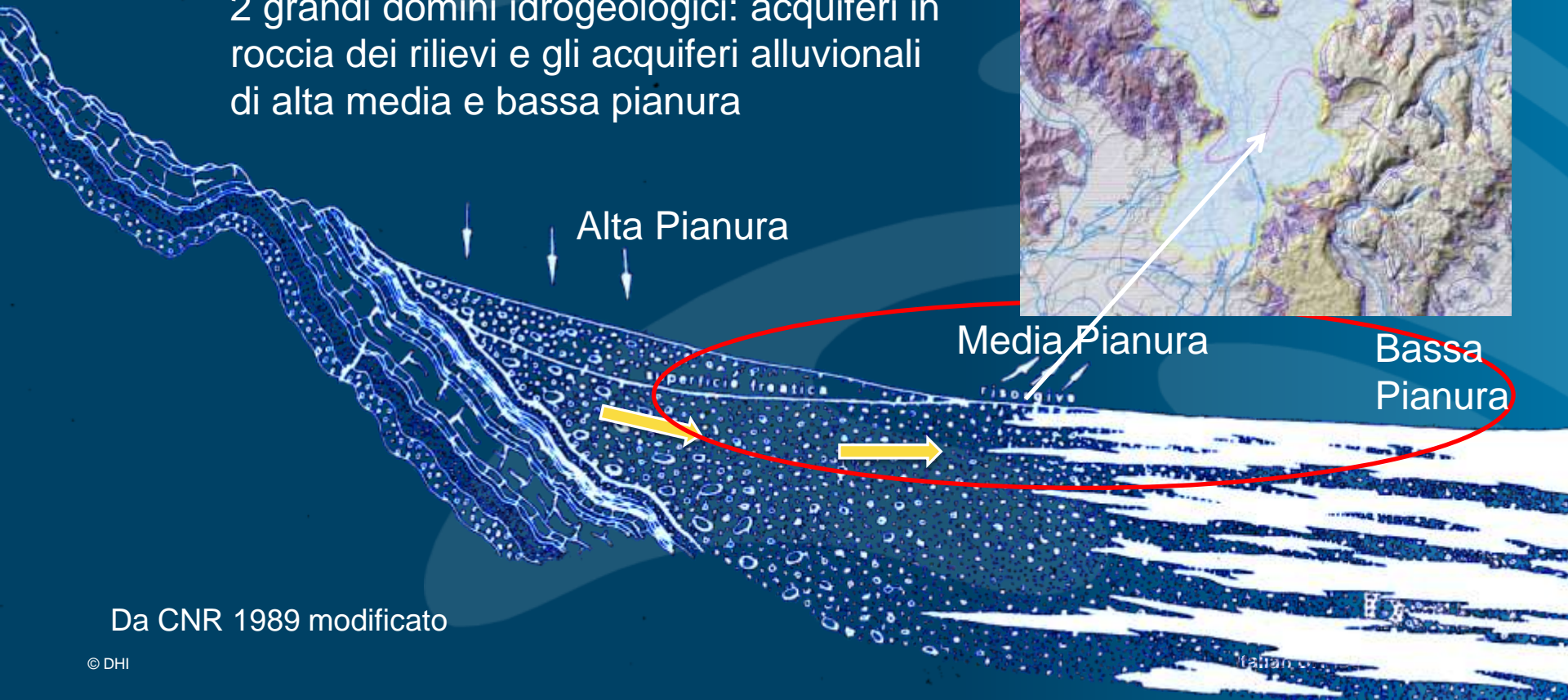
1. **le acque sotterranee;** processo favorito dalle caratteristiche dell'acquifero e dalle percolazioni (scarichi, dilavamento, scolmatori fognari ecc.)
2. **le acque superficiali:** reticolo di corsi d'acqua che con dinamiche di rapido trasporto hanno permesso la propagazione a distanze notevoli;

(L'estensione longitudinale dell'inquinamento nelle falde a sud ha superato i 35 km) dimostrando inoltre, per le sue proprietà di persistenza e bassa/nulla biodegradabilità, di essere un formidabile tracciante dei deflussi idrici sotterranei e superficiali e di avere caratteristiche chimico-fisiche che ne permettono una estrema diffusione.



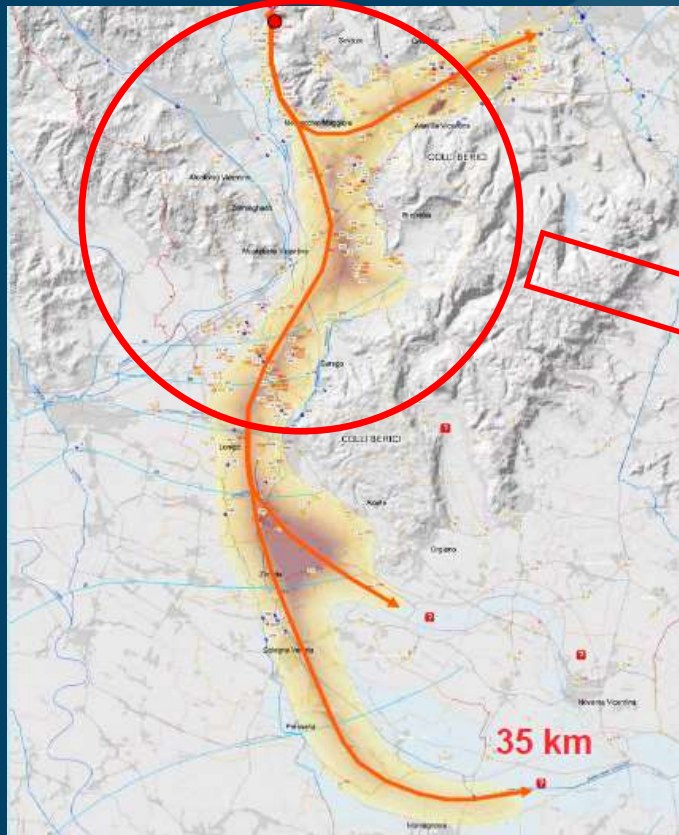
IDROGEOLOGIA DEL TERRITORIO

2 grandi domini idrogeologici: acquiferi in roccia dei rilievi e gli acquiferi alluvionali di alta media e bassa pianura

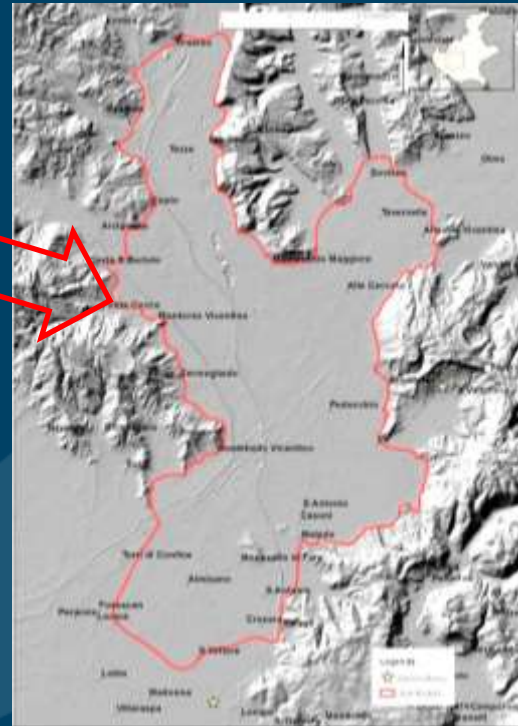


Da CNR 1989 modificato

L'APPLICAZIONE DELLA MODELLISTICA



© DHI



Area di 93.87 kmq

L'approccio modellistico per:

- Delimitazione rigorosa del plume inquinante
- Definizione dell'evoluzione spazio-temporale del fenomeno (anche in profondità);
- Interpretare le anomalie di concentrazione presenti;
- Bilancio di massa;
- Supporto alle decisioni anche per possibili interventi di mitigazione;

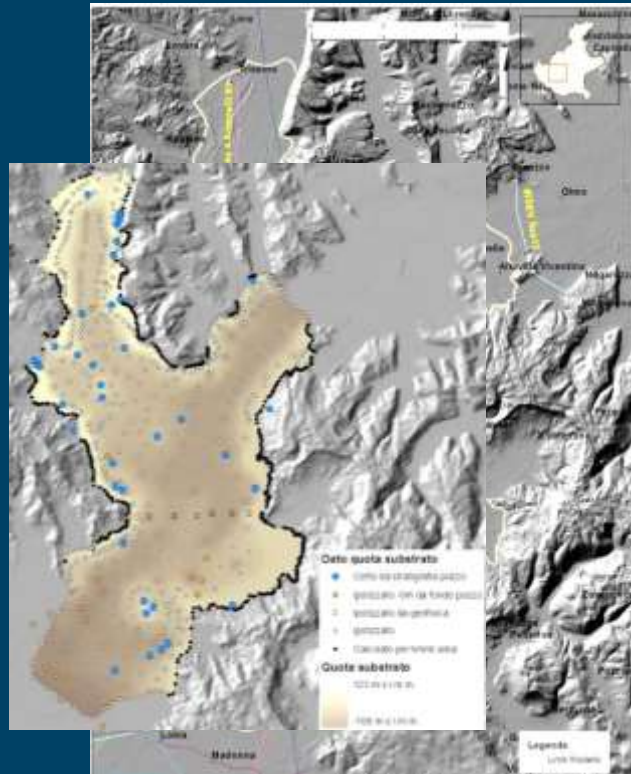
LIMITAZIONI ATTUALI e ASSUNZIONI

- l'area ridotta del modello rispetto all'estensione complessiva del *plume* è stata definita in funzione della completezza dei dati attualmente disponibili;
- L'applicazione modellistica è attualmente in fase di sviluppo e non è completa (modello grezzo non definitivo). Questa presentazione rappresenta la parte di lavoro attualmente svolta.

- La progettazione del lavoro, interna ad ARPAV, prevede una simulazione del flusso e trasporto a grande scala per approfondire i caratteri generali del plume e della sua evoluzione anche in relazione a scenari di rischio. Sono previste altre simulazioni a scala di sito per modellizzare in dettaglio l'area in prossimità della sorgente inquinante e di altre situazioni puntuali di concentrazioni anomale;



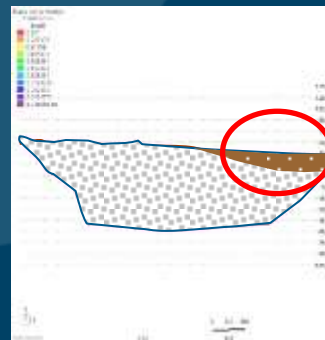
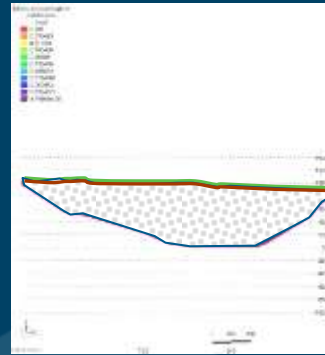
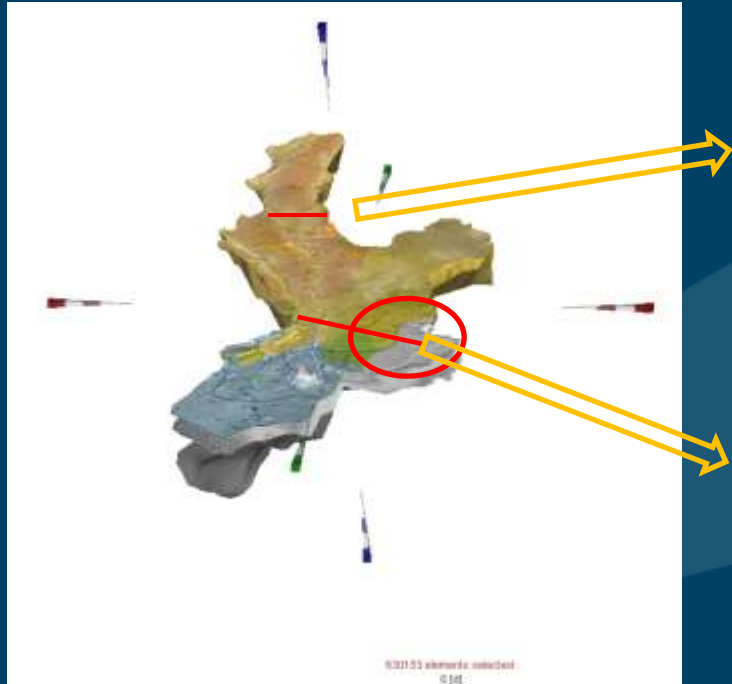
RICOSTRUZIONE DEL BEDROCK



Schema idrogeologico: La ricostruzione tridimensionale degli acquiferi parte dai dati bibliografici ricavati da studi specifici (IRSEV 1979, Antonelli 1990, Studio Giada 2005-2010), nuove stratigrafie acquisite dagli Enti competenti per la concessione dei pozzi (Geni Civili, Distretto Alpi Orientali) e nuove prospezioni geofisiche eseguite nell'area di studio.



Assetto idrogeologico:



Schema idrogeologico concettuale:

Schematizzato e semplificato in termini di trasmissività in 2 Layer (Acquifero poroso e Aquiclude delle argille “complessivo”);

Caratteristiche Acquifero indifferenziato a nord delle risorgive:

- Volume d'acqua: 4.700 Mm³
- Spessore medio: circa 60 m con valori che raggiungono al centro della valle 100 m rastremandosi ai bordi (Sez1)

Caratteristiche Acquifero Poroso differenziato a sud delle risorgive:

- Volume d'acqua: 1.400 Mm³
- Spessore medio: circa 50 - 60 m

ASPETTI DELL'IMPLEMENTAZIONE

Condizioni al contorno: (Massa)

Mass Concentration BC: Metodo della sorgente infinita. Si è simulata la presenza solo di PFOA, inserendo 2 sorgenti localizzate nella sito industriale dove sono state misurate le concentrazioni massime pari a 115 ugL e 265 ugL.

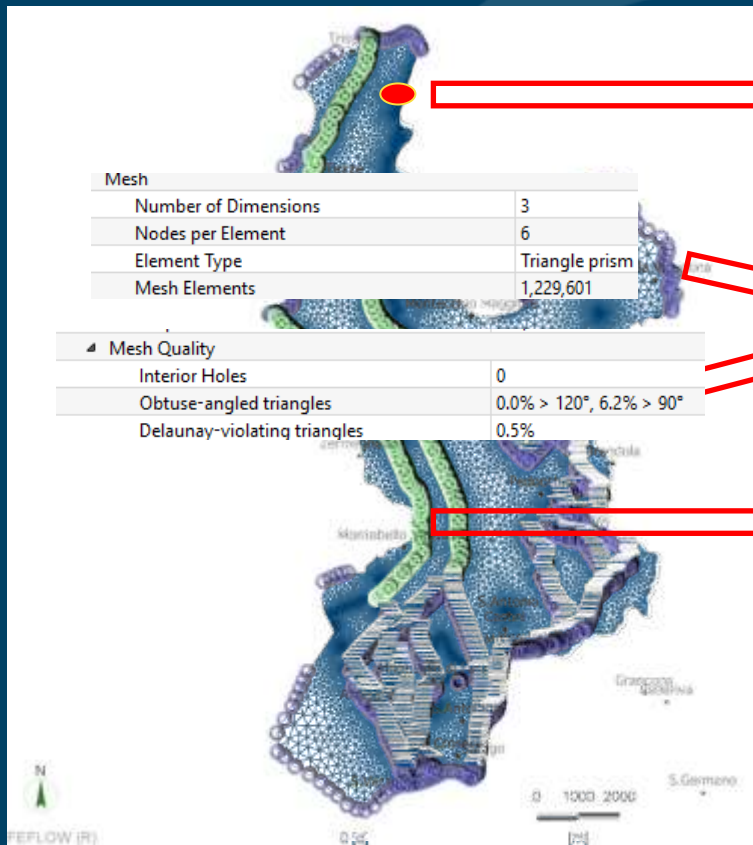
Condizioni al contorno: (flusso)

Hydraulic head BC da isofreatiche note in studi pregressi e il drenaggio dei **canali irrigui** al di sotto della linea delle risorgive + le stesse **risorgive**;

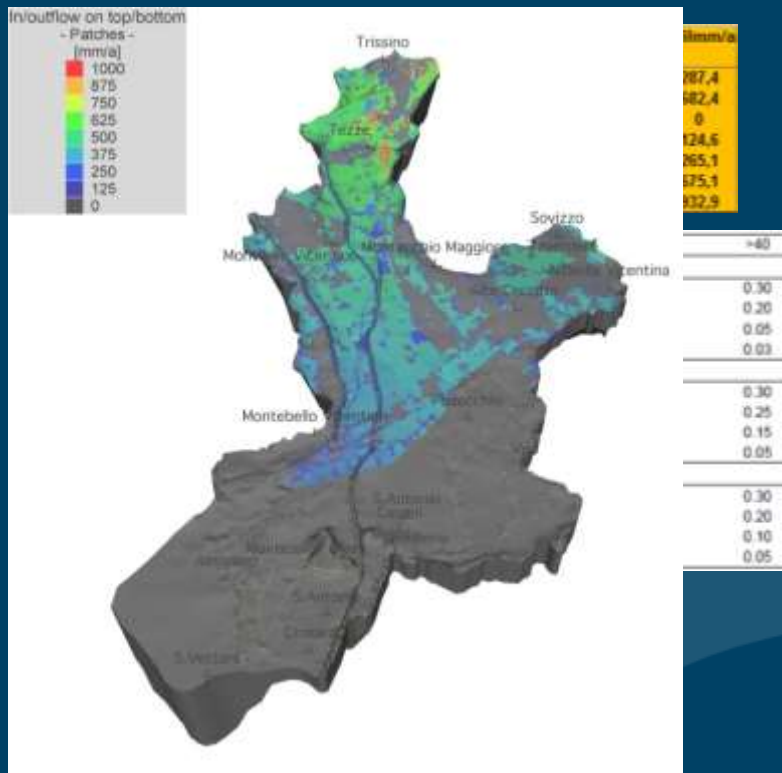
Fluid Transfer BC dispersioni dei torrenti Agno e Chiampo valutate a 100 l/s km come nota da studi bibliografici e tarate in Feflow tramite la transfer rate;

Parametri del Modello:

Simulazione del saturo in regime stazionario, fully confined, tempo di simulazione 40 anni;



INFILTRAZIONE EFFICACE

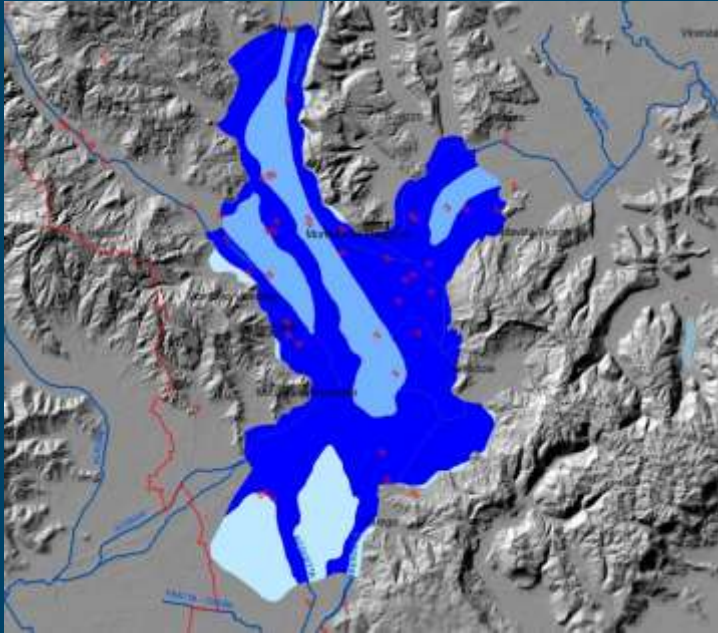


- Calcolo del coefficiente di infiltrazione è stato ricavato indirettamente dal coefficiente di deflusso valutato con il metodo di Kennesey. Il metodo calcola il Coefficiente di deflusso come somma di 3 componenti: Acclività, Copertura Vegetale e Permeabilità.

Indice di aridità della Stazione meteo di Lonigo > 40;

- Ai valori di precipitazione sono stati aggiunti dai 210 ai 630 mm di irrigazione annua nelle aree irrigate rispettivamente ad aspersione o scorrimento (l'irrigazione viene effettuata su turni);
- Per le aree urbanizzate e la zona a sud della linea delle risorgive il coefficiente di infiltrazione è stato considerato quasi nullo.
- Infiltrazione efficace varia quindi da 0 a 1000 mm medi annui

PARAMETRI IDRODINAMICI



I valori di permeabilità sono stati ricostruiti con le numerose prove specifiche di permeabilità esistenti in sito (acquifer test, well test provenienti da dati di concessione (Genio Civile) o studi – es. Pedemontana Veneta, progetto GIADA) In aiuto per una più precisa perimetrazione delle zone a diversa permeabilità sono stati i dati disponibili in ARPAV (Osservatorio Suoli) riferiti all'orizzonte C più profondo in contatto con il deposito inalterati (permeabilità tra sottosuolo/suolo).

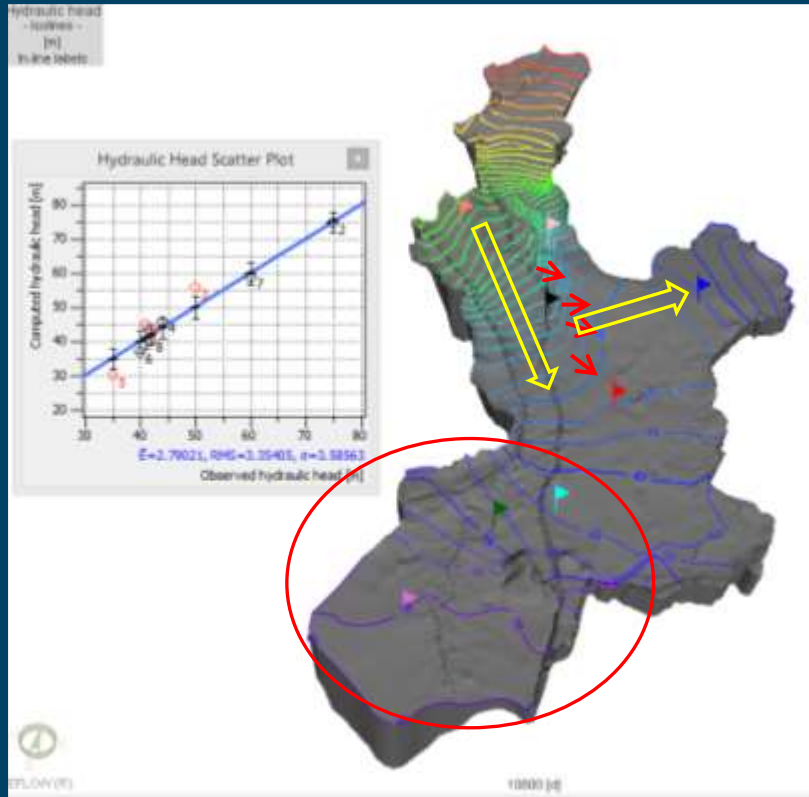
PRELIEVI PUNTUALI E AREALI

Dati dei prelievi sottostanti acquisiti dallo **Studio Giada 2010**, modificati tenendo conto dei prelievi puntuali maggiori di 10 l/s e della superficie areale comunale effettiva entro il dominio di studio del modello.



Comune	Tipologia utilizzo				Totale (mc/anno)
	Igienico e assimilato (mc/anno)	industriale (mc/anno)	irriguo (mc/anno)	potabile (mc/anno)	
ALONTE	662,256		2,002,536	315,360	2,980,152
ALTISSIMO		31,536			31,536
ARZIGNANO	126,144	12,898,224	488,808	4,667,328	18,180,504
BRENDOLA	63,072	946,080	4,399,272	1,513,728	6,922,152
CASTELGOMBERTO	94,608	126,144	141,912	409,968	772,632
CHIAMPO	157,680	8,325,504	47,304	1,261,440	9,791,928
CORNEDO VICENTINO	189,216	368,971	1,214,136	2,712,096	4,484,419
CRESPADORO	0			1,261,440	1,261,440
GAMBELLARA	1,072,224	283,824	646,488	504,576	2,507,112
LONIGO	2,838,240	2,680,560	14,168,179	15,137,280	34,824,259
MONTEBELLO VIC.NO	1,768,854	4,020,840	6,316,661	1,324,512	13,430,867
MONTECCHIO MAGGIORE	473,040	4,572,720	3,216,672	3,090,528	11,352,960
MONTORSO VIC.NO	63,072	2,175,984	1,072,224	473,040	3,784,320
NOGAROLE VIC.NO				1,261,440	1,261,440
RECOARO TERME			47,304		47,304
S. PIETRO MUSSOLINO		2,018,304		1,261,440	3,279,744
SAREGO	1,261,440	3,118,910	5,488,525	567,648	10,436,524
TRISSINO	220,752	1,595,722	867,240	1,513,728	4,197,442
VALDAGNO	94,608	1,923,696		946,080	2,964,384
ZERMEGHEDO		2,049,840	189,216	126,144	2,365,200
Totale	9,085,206	47,136,859	40,306,477	38,347,776	134,876,318

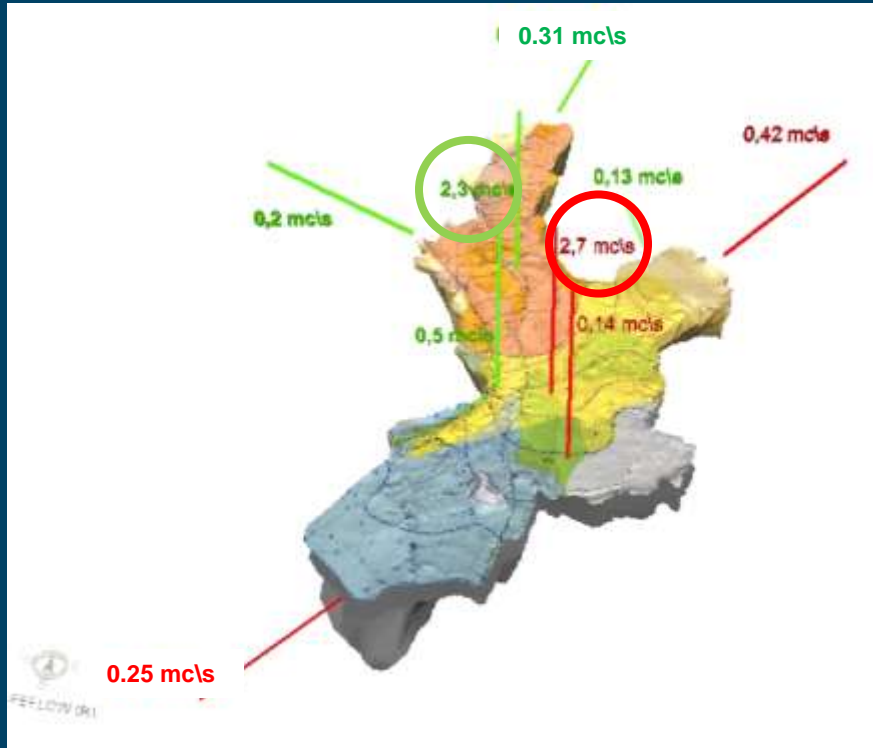
MODELLO DI FLUSSO: TARATURA



Risultati della simulazione in regime stazionario per il flusso: La taratura del flusso è stata fatta su misure puntuali usati per la ricostruzione della carta piezometrica dell'area (Antonelli, 1990). La deviazione standard è di 3,6 m. Le maggiori discrepanze tra il simulato e il "misurato" risultano nella bassa pianura. I risultati miglioreranno notevolmente con valori di permeabilità più accurati che sono in fase di implementazione e una nuova e aggiornata campagna freaticometrica di dettaglio.

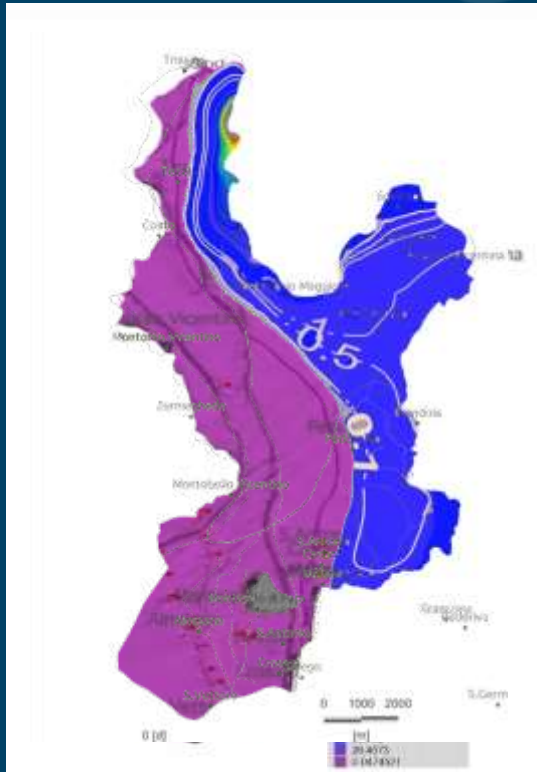
Dalla carta delle isofreatiche si nota il carattere disperdente del fiume Agno che unito agli alti valori di permeabilità che caratterizzano il settore orientale ne condiziona il flusso separandolo in prossimità di Montecchio Maggiore in due direzioni principali: N-S e W-E.

MODELLO DI FLUSSO: BILANCIO



Rate Budget	
Domain of Interest (DOI)	
Domain	
<input checked="" type="checkbox"/> Active	[m ³ /s]
Dirichlet BCs	
-0.81313	+0.64325
Neumann BCs	
Cauchy BCs	
-3.5006e-13	+2.3399
Wells	
-1.0963	
Distributed Sink(-)/Source(+)	
-1.5757	+0.50195
Storage Capture(-)/Release(+)	
Imbalance	
-3.0932e-07	

ISOCONCENTRAZIONE INQUINAMENTO



MODELLO DI TRASPORTO: prima simulazione

1. Il modello di flusso è ancora in via di perfezionamento quindi il modello di trasporto va visto solo come primo prodotto provvisorio (anche come feedback sul modello di flusso). Bisogna inoltre considerare che le dinamiche di trasporto dell'inquinante sono molto varie quindi potrebbero esserci situazioni locali che producono effetti molto diversificati (questo soprattutto per la parte più meridionale dove l'interscambio acque superficiali contaminate e sotterranee è accertato).
2. Questo primo risultato deve essere visto come una dispersione dell'inquinante nel dominio del modello senza "interferenze" esterne (irrigazioni contaminate, fenomeni di adsorbimento – desorbimento particolari come in livelli organici capaci di adsorbire grandi quantità di inquinante e desorbirle lentamente, presenza di altre possibili fonti di contaminazione, ecc...);
3. L'inquinante viene "confinato" a scorrere nella parte orientale infravalliva del modello sia per la dispersione del torrente Agno e sia per la presenza di una fascia a maggiore permeabilità (paleoalveo). I parametri di permeabilità elevati prossimi alla zona di Brendola permettono ai filetti fluidi di divergere e portare l'inquinante nel settore sud orientale del modello come effettivamente osservato.
4. Questa prima simulazione (con periodo $T=40$ anni) fornisce già una prima risposta: per spiegare la propagazione più a sud deve esserci stato il concorso dei corsi d'acqua.

RISULTATI OTTENUTI

1. Raccolta e omogeneizzazione delle varie banche dati territoriali;
2. Ricostruzione del modello idrogeologico concettuale tridimensionale dell'area di studio suddiviso attualmente in termini di trasmissività (2 layer – 3 slice) che sarà esteso geometricamente con la presenza di tutti gli aquitardi;
3. Definizione dell'infiltrazione efficace (Kennessey) tenendo conto inoltre della componente irrigua (scorrimento e aspersione) e dell'impermeabilizzazione urbana del suolo;
4. Definizione dei prelievi attraverso una schematizzazione diffusa per derivazioni <10 l/s e contestualmente rappresentazione reale dei prelievi sopra i 10 l/s;
5. Realizzazione del modello di flusso in regime stazionario e considerazioni sugli aspetti volumetrici - quantitativi di acqua in gioco e delle direzioni di deflusso preferenziali della falda nell'intero dominio;
6. Prima simulazione semplificata della dispersione dell'inquinante in falda con il metodo della sorgente infinita e prima visualizzazione a scala di dominio dell'estensione del plume;
7. Prima stima sui tempi di propagazione dell'inquinamento da PFAS nelle acque sotterranee (> 40 anni);

SVILUPPI FUTURI

1. Definizione più accurata degli acquiferi e dei parametri idrodinamici;
2. integrazione dei dati di input del modello con dati provenienti da altre simulazioni in regime variabile (es. Modello Criteria sul fabbisogno idrico in campo agricolo);
3. Taratura e simulazione della dispersione dell'inquinante introducendo dati relativi all'isoterma di adsorbimento;
4. Implementazione del modello di trasporto anche per le altre specie PFAS;
5. Modello in regime variabile;
6. Sviluppo di scenari previsionali di inquinamento considerando la barriera idraulica attualmente in funzione nel sito di bonifica;
7. Creazione di sotto modelli «sito-specifici» per dare risposte a situazioni di contaminazione anomale.
8. Estensione dell'area di modello e implementazione con MIKE 11 (acque superficiali) per una migliore modellazione degli interscambi acque superficiali/sotterranee.

Thank you

Torino, 14-15 Ottobre 2015