



**UNIVERSITÀ  
DI PARMA**

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA  
E ARCHITETTURA**

Parco Area delle Scienze, 181/A - 43124 Parma  
tel +39 0521 905800  
email dia.amministrazione@unipr.it  
PEC DiplIngegneriaArchitettura@pec.unipr.it

---

# **Conoide Enza: Studio idrologico, modello idro-stratigrafico e di flusso, bilancio idrico**

## **Relazione Finale**

Responsabile dell'Accordo di Collaborazione

Prof. Andrea Segalini

Gruppo di Lavoro

Prof. Renzo Valloni

Dott. Geol. Fabio Carlo Molinari

Dott. Ing. Maria Elena Tortorici

Dott. Geol. Marco Bersano Begey

Dott. Geol. Giulio Torri

Parma, 03 maggio 2022



## Sommario

1.	Introduzione ed obiettivi dello studio .....	6
2.	Modello concettuale su base idro-stratigrafica della conoide Enza.....	7
2.1.	Inquadramento territoriale e impostazione del modello digitale del sottosuolo.....	7
2.1.1.	Implementazione del database geognostico.....	7
2.1.2.	Realizzazione di una rete di sezioni idro-stratigrafiche.....	9
2.1.3.	Costruzione del modello idro-stratigrafico.....	9
2.1.4.	Caratterizzazione idraulica del modello idro-stratigrafico .....	10
2.1.5.	Produzione degli output e dei formati di input per la modellazione di flusso .....	11
2.2.	Idro-stratigrafia.....	11
2.2.1.	Geologia della conoide sepolta dell'Enza .....	11
2.2.2.	Unità stratigrafiche e idro-stratigrafiche.....	12
2.3.	Architettura degli acquiferi della conoide dell'Enza.....	13
2.3.1.	Basamento idrogeologico.....	15
2.4.	Schema classificativo degli acquiferi .....	17
3.	Origine e trattamento dei dati implementati nel modello di flusso .....	20
3.1.	Piezometria.....	20
3.2.	Ricarica dal torrente Enza.....	20
3.3.	Ricarica per infiltrazione verticale .....	20
3.4.	Prelievi da pozzi .....	21
4.	Modello di flusso della conoide dell'Enza .....	22
4.1.	Impostazione del modello .....	22
4.1.1.	Il codice di calcolo.....	22
4.1.2.	Implementazione modello idro-stratigrafico e griglia di calcolo.....	22
4.1.3.	Condizioni al contorno.....	22
4.1.4.	Accoppiamento con modello idraulico HEC-RAS.....	23
4.2.	Calibrazione del modello .....	24
4.2.1.	Calibrazione in regime stazionario e stima del volume idrico disponibile .....	24
4.3.	Bilancio idrogeologico .....	26



---

4.3.1.	Condizione di taratura (scenario “attuale”)	26
4.3.2.	Punti di forza del modello	28
5.	Scenario Cambiamento Climatico – RCP 4.5	29
5.1.	Condizione iniziale (media 2000 – 2018)	29
5.2.	Input di ricarica in scenario di cambiamento climatico simulato	30
5.3.	Output di bilancio in scenario CC.	31
5.4.	Trend piezometrico in scenario CC	32
6.	Conclusioni e commenti	35
7.	Allegato - Lista e descrizione degli elaborati consegnati	38
7.1.	Sottocartella “CRITERIA”	38
7.1.1.	Sottocartella “CRITERIA files”	38
7.1.2.	Sottocartella “programma CRITERIA”	39
7.2.	Sottocartella “MODELLO GEOLOGICO LEAPFROGGEO”	39
7.2.1.	Sottocartella “Dati Geognostici”	40
7.2.2.	Sottocartella “DTM_Conoidi_Enza”	43
7.2.3.	Sottocartella “SHAPE”	43
7.2.4.	Sottocartella “SEZIONE_IDROSTRATIGRAFICA”	43
7.2.5.	Sottocartella “SHAPE”	43
7.2.6.	Sottocartella “GRID”	44
7.2.7.	Sottocartella “Viewer”	44
7.3.	Sottocartella FEFLOW	44
7.3.1.	Sottocartella “3.79m3s”	44
7.3.2.	Sottocartella “4.59m3s”	44
7.3.3.	Sottocartella “Climate_Change_2.49m3s”	44
7.3.4.	Sottocartella “Hec-Ras_Progetto_MS”	44
7.4.	Sottocartella RELAZIONE	45



## Indice delle figure

Figura 1: Area di studio, con superficie pari a 200 km <sup>2</sup> , indicata dal perimetro dei modelli fisico e di flusso della conoide sepolta del T. Enza. Ubicazione dei dati geognostici rappresentati da 587 stratigrafie di pozzi per acqua e sondaggi con profondità superiore a 40 m e traccia delle sezioni idro-stratigrafiche. ....	8
Figura 2: Rappresentazione 3D dei cinque layer di Gruppi Acquiferi che costituiscono il modello idro-stratigrafico della Conoide dell'Enza .....	10
Figura 3: Schema idro-stratigrafico del sottosuolo della pianura emiliano-romagnola (RER ENI-AGIP, 1998 e smi). ....	12
Figura 4: Sezione Idro-stratigrafica della Conoide dell'Enza con rappresentati i cinque layer di Gruppi Acquiferi (cfr. Fig. 2). A monte dell'alto strutturale di Montecchio Emilia il Basamento Idrogeologico coincide con la base del Gruppo Acquifero C. ....	14
Figura 5: Mappa delle isobate del Basamento Idrogeologico in metri dal PC. L'alto strutturale di Montecchio Emilia separa il bacino di piggyback o interno dal bacino di foredeep o esterno. ....	16
Figura 6: Sezione geologica schematica di sottosuolo rappresentativa della pianura emiliano-romagnola vestita delle unità idro-stratigrafiche codificate dalla Regione Emilia-Romagna (RER, 2015) .....	18
Figura 7: Schema del Modello Numerico accoppiato HEC-FEFLOW .....	23
Figura 8: Risultato della calibrazione: confronto tra carichi piezometrici misurati e simulati .....	25
Figura 9: Livello piezometrico al Tempo T=0, termine della fase di taratura ed inizio dell'applicazione degli scenari di Cambiamento Climatico. Nel pannello "Model Domain" si nota il volume complessivo della risorsa idrica pari a 5.89x10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> .....	26
Figura 10: Schema del Modello di bilancio idrologico, con indicazione degli apporti (in verde) e delle perdite (in rosso): 1. ricarica da rete idrica superficiale; 2. infiltrazione dal suolo; 3. da pozzi; 4. verso risorgive e rete idrica superficiale; 5. da acquifero conoide verso l'acquifero della (bassa) "pianura appenninica". ....	27
Figura 11: Diagramma degli afflussi meteorici negli anni 2000-2018 e media dei valori pressoché costante. ....	29
Figura 12: Andamento dei livelli piezometrici in alcuni dei piezometri monitorati nel periodo 2000-2018. I livelli medi sono pressoché costanti per ciascuno di essi. ....	30
Figura 13: Risultati del bilancio idrogeologico ottenuti dallo scenario di Cambiamento Climatico CC. ....	31



# UNIVERSITÀ DI PARMA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA  
E ARCHITETTURA

Parco Area delle Scienze, 181/A - 43124 Parma  
tel +39 0521 905800  
email dia.amministrazione@unipr.it  
PEC DiplIngegneriaArchitettura@pec.unipr.it

---

Figura 14: Bilancio Idrogeologico a venti anni, che rimarrà pressoché invariato anche a 100 anni nell'ipotesi di mantenimento dei livelli di Po costanti in CC.....	33
Figura 15: Profilo piezometrico stabilizzato a 100 anni. ....	33
Figura 16: Variazione dei livelli piezometrici in alcuni dei punti monitorati durante lo scenario di CC, limitata a 20 anni, ove si osserva la stabilizzazione dei livelli in modo evidente. ....	34

## Indice delle tabelle

Tabella 1: Bilancio idrogeologico risultante dai due scenari descritti nel capitolo 1.2.1 .....	28
Tabella 2. Bilancio idrogeologico risultante dallo scenario CC.....	31



## 1. Introduzione ed obiettivi dello studio

Il presente lavoro si inserisce nel più ampio “Studio sulla risorsa idrica in Val d’Enza” (di seguito Studio Enza), finalizzato all’individuazione di strategie atte a contemperare disponibilità naturale di risorsa idrica, domanda di risorsa idrica e raggiungimento degli obiettivi ambientali, sviluppato da Regione Emilia-Romagna ed Autorità di Bacino distrettuale del fiume Po (di seguito AdbPo) nell’ambito di una collaborazione ai sensi dell’art. 15 della L.241/1990. La collaborazione, avviata nel 2018, prevedeva un percorso con tempi molto stretti per approfondire le conoscenze condivise dal cosiddetto Tavolo Tecnico Regionale Enza, costituitosi nel 2017 a seguito dell’evento di forte carenza idrica della stessa stagione estiva, ed individuare soluzioni per mitigare la storica sofferenza idrica in particolare sentita dal comparto agricolo.

Nell’ambito delle attività dello studio Enza, è emersa la necessità di colmare le lacune conoscitive riguardanti la reale disponibilità idrica di risorsa sotterranea della conoide dell’Enza, elemento fondamentale di bilancio idrico nell’area, utilizzata in modo intensivo per scopi idropotabili e come risorsa di soccorso per l’irrigazione, seppur in modo discontinuo.

Sulla base dell’elevato interesse scientifico-applicativo di questo tema, Università di Parma-Dipartimento di Ingegneria e Architettura ed AdbPo hanno avviato una ulteriore collaborazione, per lo sviluppo, in tempi molto brevi, di un modello concettuale e di flusso del corpo idrogeologico sotteso alla conoide del fiume Enza (di seguito Conoide Enza), con l’obiettivo di:

- Stimare con la maggior precisione possibile i volumi di risorsa idrica sotterranea utilizzabili attuali, verificandone lo stato rispetto ai dati storici disponibili
- Stimare l’evoluzione di tali volumi, a parità di prelievi, in scenario di cambiamento climatico.



## 2. Modello concettuale su base idro-stratigrafica della conoide Enza

### 2.1. Inquadramento territoriale e impostazione del modello digitale del sottosuolo

L'areale dello studio si estende a cavallo dell'asta del torrente Enza sul territorio delle province di Reggio Emilia e Parma. Si tratta di un poligono, con superficie pari a 200 km<sup>2</sup>, allungato in direzione sud-sudovest nord-nordest, che va da San Polo d'Enza (sud) a Praticello (nord) e da Cavriago (est) a Monticelli terme (ovest).

L'areale di studio è mostrato in Figura 1: ha pendenza topografica d'insieme da sud-sudovest a nord-nordest e sottende la conoide sepolta del torrente Enza, su cui è stato prima costruito il modello fisico del sottosuolo e poi il modello di flusso.

La prima fase di studio geologico-stratigrafico del sottosuolo ha previsto lo sviluppo delle cinque seguenti attività:

1. Implementazione del database geognostico
2. Realizzazione di una rete di sezioni idro-stratigrafiche
3. Costruzione del modello idro-stratigrafico in ambiente 3D
4. Caratterizzazione idraulica del modello idro-stratigrafico
5. Produzione degli output e dei formati di input per la modellazione di flusso

Dal punto di vista concettuale e metodologico queste attività si basano sul quadro geologico e idro-stratigrafico sviluppato dalla Regione Emilia-Romagna negli ultimi 30 anni composto dai Fogli geologici in scala 1:50.000 e dalla pubblicazione "Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna" (RER ENI-AGIP, 1998).

#### 2.1.1. Implementazione del database geognostico

Oltre all'informazione litostratigrafica minore basata sui pozzi poco profondi, la banca dati di questo studio si compone di 587 stratigrafie di pozzi per acqua e sondaggi con profondità superiore a 40 m, geolocalizzati in Figura 1.

In ordine di importanza, le fonti da cui sono tratte le stratigrafie risultano: la Banca dati geognostici di Regione Emilia-Romagna (di seguito RER) ([https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia\\_sgss/](https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/)), l'archivio stratigrafico dell'Università di Parma che inizia con la pubblicazione della raccolta "Mille pozzi" e le strutture Autorizzazioni e Concessioni ARPAE di Parma e Reggio Emilia.



# UNIVERSITÀ DI PARMA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA  
E ARCHITETTURA

Parco Area delle Scienze, 181/A - 43124 Parma  
tel +39 0521 905800  
email dia.amministrazione@unipr.it  
PEC DiplIngegneriaArchitettura@pec.unipr.it

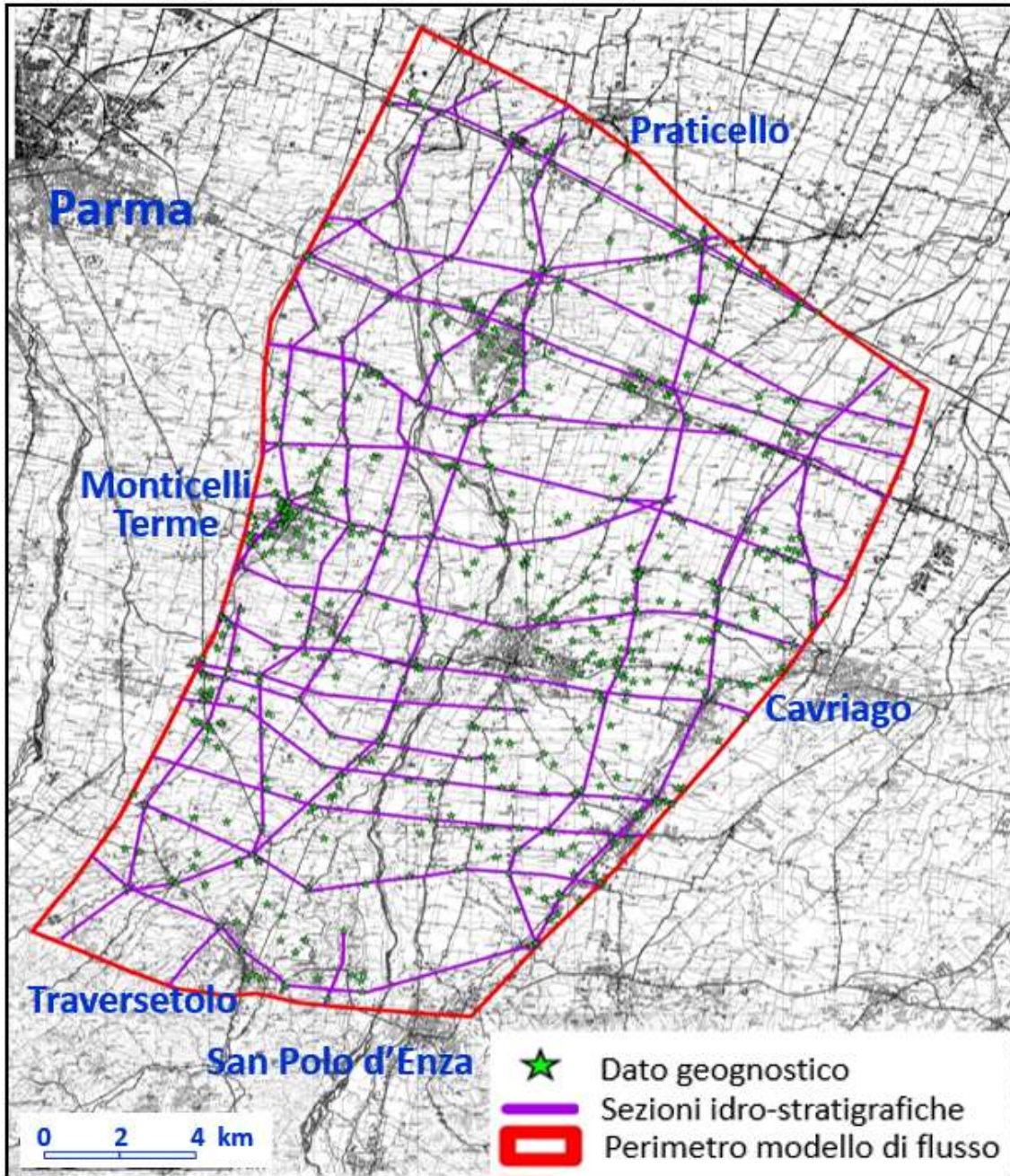


Figura 1: Area di studio, con superficie pari a 200 km<sup>2</sup>, indicata dal perimetro dei modelli fisico e di flusso della conoide sepolta del T. Enza. Ubicazione dei dati geognostici rappresentati da 587 stratigrafie di pozzi per acqua e sondaggi con profondità superiore a 40 m e traccia delle sezioni idro-stratigrafiche.





## 2.1.2. Realizzazione di una rete di sezioni idro-stratigrafiche

Sulla base delle stratigrafie caricate in ambiente GIS sono state realizzate le 22 sezioni di sottosuolo incrociate mostrate in Figura 1, con orientamento parallelo (8 sezioni) e trasversale (14 sezioni) all'asse deposizionale della conoide dell'Enza, rispettivamente chiamate sezioni *Dip* e *Strike*.

Sui pannelli bidimensionali delle sezioni incrociate i corpi sedimentari del sottosuolo vengono interpretati in conformità allo schema classificativo istituito dalla Regione Emilia-Romagna (Riserve Idriche Sotterranee RER ENI-AGIP, 1998), vale a dire in Unità geologico-stratigrafiche aventi significato idrogeologico.

In pratica, utilizzando ogni utile informazione fornita dal complesso dei sondaggi intercettati dalle sezioni e interclusi ad esse, i corpi sedimentari del sottosuolo vengono ricostruiti nel maggior dettaglio possibile con la individuazione dei livelli grossolani (acquiferi) e fini (acquitardi) che internamente compongono le Unità geologico-stratigrafiche e la definizione delle superfici fisiche che delimitano tali Unità.

In questa ricostruzione, fatta secondo i principi della stratigrafia fisica, la rete di sezioni fornisce una prima visione tridimensionale del sottosuolo (*fence diagram*) che, sempre riferendo allo schema classificativo RER ENI-AGIP (1998), ha una valenza sia geologico-stratigrafica (Unità allostratigrafiche) sia idrogeologica (Gruppi e Complessi acquiferi). Si parla così di rete di sezioni idro-stratigrafiche.

## 2.1.3. Costruzione del modello idro-stratigrafico

L'importazione in ambiente 3D agli elementi finiti (software utilizzato LeapfrogGeo) delle sezioni idro-stratigrafiche inizia dal *picking* dei principali limiti dei Gruppi e Complessi Acquiferi, operazione che, volendo, già consente di realizzare un modello geologico-stratigrafico del sottosuolo stanti le specifiche corrispondenze tra Gruppi/Complessi Acquiferi e Unità geologico-stratigrafiche. Stanti le finalità del lavoro, in questa sede si è proceduto direttamente alla individuazione di un adeguato numero di *layer* idro-stratigrafici tenendo conto dell'andamento spaziale espresso localmente dai Gruppi/Complessi Acquiferi, i.e., si è proceduto a una scelta dei più opportuni limiti tra Complessi Acquiferi che ha portato alla definizione di cinque *layer* idro-stratigrafici come mostrato in Figura 2. La rappresentazione 3D di Figura 2 esprime il cosiddetto **modello idro-stratigrafico** che in questo studio prevede la suddivisione del Gruppo Acquifero A in due *layer* (1 e 2), la rappresentazione dell'intero Gruppo Acquifero B in un unico *layer* (3) e la suddivisione del Gruppo Acquifero C in due *layer* (4 e 5). Vale subito evidenziare la complessità geometrica della struttura del sottosuolo, con un alto strutturale che si evidenzia sulla trasversale di Montecchio Emilia e con i due *layer* del Gruppo acquifero C posti a "profondità emungibile" nel solo territorio che va dalla trasversale di Montecchio Emilia al margine sud della pianura.



Figura 2: Rappresentazione 3D dei cinque layer di Gruppi Acquiferi che costituiscono il modello idro-stratigrafico della Conoide dell'Enza

#### 2.1.4. Caratterizzazione idraulica del modello idro-stratigrafico

Nei suoi tratti essenziali, il modello idro-stratigrafico costituisce uno schema concettuale di circolazione idrica sotterranea da completare sotto il profilo idraulico con la ripartizione dei prelievi nei layer idro-stratigrafici e l'inserimento di dati piezometrici e di valori di Conducibilità ( $k$ ).

I valori di Conducibilità Idraulica ( $k$ ) sono assegnati zonizzando ogni singolo layer in poligoni con  $k$  uniforme procedendo in due modi. In primo luogo, si inseriscono i dati di misura puntuali di varia provenienza (RER ENI-AGIP 1998, studi di VIA su campi pozzi, prove di pozzo eseguite da professionisti, ecc.). Si completa poi l'assegnazione delle  $k$  ai restanti poligoni in base a criteri sedimentologici di stima della variazione laterale delle facies deposizionali.

Per quanto attiene i prelievi, l'attribuzione ai singoli layer emunti da ciascun pozzo inserito nel modello idro-stratigrafico 3D viene fatta sulla base della profondità dei filtri o, in subordine, della profondità del pozzo.

Il prodotto di questa qualificazione idrodinamica del modello numerico (idro-stratigrafico) 3D di sottosuolo costituisce il cosiddetto modello idrogeologico, meglio noto come 'modello concettuale', la base di riferimento per l'implementazione del modello di flusso.



## 2.1.5. Produzione degli output e dei formati di input per la modellazione di flusso

Gli elaborati chiave realizzati in ambiente GIS per lo sviluppo del **modello concettuale**, es. limiti stratigrafici dei *layer*, poligoni di zonizzazione della Conducibilità Idraulica, ecc., vengono armonizzati e resi in formato idoneo per essere esportati come dati di input del costruendo modello di flusso, sviluppato col noto codice FEFLOW 7.3 (DHI-WASY).

## 2.2. Idro-stratigrafia

In questo paragrafo vengono sinteticamente illustrati: l'area di studio centrata sulla conoide dell'Enza, lo schema stratigrafico utilizzato e i *layer* idro-stratigrafici distinti, le geometrie delle unità idro-stratigrafiche e l'architettura degli acquiferi della conoide dell'Enza anche in confronto con la vigente classificazione degli acquiferi del Piano Tutela Acque della Regione Emilia-Romagna.

Lo studio geologico di sottosuolo è stato svolto a partire da un'area ampia 270 km<sup>2</sup> al fine di individuare gli spartiacque sotterranei (limiti no-flow) su quali è stato poi definito il perimetro del modello di flusso che si estende su una superficie pari a 200 km<sup>2</sup>, con limite sud sulla linea San Polo d'Enza - Traversetolo, limite ovest sulla linea Monticelli Terme - San Prospero di Parma, limite nord posto all'altezza di Praticello poco oltre l'A1 e limite est sulla linea Bibbiano - Cavriago (Figura 1).

### 2.2.1. Geologia della conoide sepolta dell'Enza

Con la chiusura dei cicli sedimentari marini intorno a 800.000 anni fa, il Paleoenza ha costruito la sua conoide alluvionale in più fasi deposizionali a partire da 400.000 anni fa, con pulsanti particolarmente importanti a partire da 130.000 anni fa. In queste età geologiche il ventaglio sedimentario della conoide si è accresciuto in spessore per effetto della subsidenza e lateralmente, avanzando in direzione N-NE, sempre mantenendo il suo asse deposizionale con orientamento S-SW → N-NE.

A partire da 18.000 anni fa (*post last glacial maximum*), con la transizione verso l'Olocene (ultimi 12.000 anni) il sistema deposizionale di conoide si è disattivato ed è stato sepolto da spessori metrici di depositi alluvionali a granulometria decisamente più fine. La drastica riduzione del trasporto fluviale che caratterizza il post-glaciale, e in particolare l'Olocene, ha comportato una forte riduzione della dimensione dei corpi sedimentari grossolani di canale fluviale che sono così conservati nel record sedimentario come acquiferi minori, annidati nei depositi fini di intercanale, a cui si fa comunemente riferimento come Complesso A0.

Nel post-glaciale e nell'Olocene il corso fluviale dell'Enza ha subito più avulsioni (abbandono dell'alveo) che hanno nell'insieme comportato lo spostamento verso ovest dell'intero tratto fluviale di media e bassa pianura per assumere da ultimo un orientamento all'incirca nord-sud, tipo quello attuale, con la conseguenza che a partire dalla media pianura (a valle di Montecchio Emilia) il torrente Enza scorre oggi disassato (a ovest) rispetto al suo corpo di conoide sepolto.



## 2.2.2. Unità stratigrafiche e idro-stratigrafiche

Lo schema stratigrafico utilizzato è quello istituito da Regione Emilia-Romagna (Riserve Idriche Sotterranee RER ENI-AGIP, 1998, e smi). Si tratta di uno schema in cui le Unità Allostratigrafiche formali di sottosuolo sono accoppiate alle corrispondenti Unità Idrogeologiche e che per questo costituisce anche la base della classificazione dei corpi idrici sotterranei adottata da RER ed acquisita da Autorità di bacino distrettuale del f. Po nel relativo Piano di Gestione delle Acque.

Sinteticamente, nel modello qui realizzato, dal basso verso l'alto stratigrafico si riconoscono le seguenti unità (Figura 3).

Unità allostratigrafiche			Unità idrogeologiche	
Super sintemi	Subsintemi	Sintemi	Complessi	Gruppi
	<i>Attuale</i>		<i>Attuale</i>	
Emiliano-Romagnolo	AES8a Modena AES8 Ravenna <i>1.600 anni</i>	AES Emiliano-romagnolo superiore	A0	A
	<i>18.000 anni</i>		18.000 anni	
	AES7 Villa Verucchio <i>130.000 anni</i>		A1	
	AES3 Agazzano		A2	
	AES2 Maiatico		A3	
	AES1 Monterlinzana		A4	
	<i>400.000 anni</i>		400.000 anni	
	<i>650.000 anni</i>		AEI Emiliano-romagnolo inferiore	
Quaternario Marino	<i>800.000 anni</i>	CMZ Costamezzana  ATS Torrente Stirone	C3  C4	C
	<i>940.000 anni</i>			
	<i>2.200.000 anni</i>			

Figura 3: Schema idro-stratigrafico del sottosuolo della pianura emiliano-romagnola (RER ENI-AGIP,1998 e smi).



## **Quaternario Marino**

Unità Torrente Stirone (ATS)	Gruppo Acquifero C inferiore (età > 940.000 a)
Unità Costamezzana (CMZ)	Gruppo Acquifero C superiore (940.000 - 800.000 a)

## **Sintema Emiliano-romagnolo inferiore (AEI)**

Gruppo Acquifero B (650.000 - 400.000 a)

## **Sintema Emiliano-romagnolo superiore (AES)**

Unità Monterlinzana (AES 1)	Gruppo Acquifero A, Complesso A4 (base a 400.000 a)
Unità Maiatico (AES 2)	Gruppo Acquifero A, Complesso A3
Unità Agazzano (AES 3)	Gruppo Acquifero A, Complesso A2 (tetto a 130.000 a)
Unità Villa Verucchio (AES7)	Gruppo Acquifero A, Complesso A1 (130.000- 18.000 a)
Unità Ravenna (AES8)	Complesso Acquifero A0 (18.000- Attuale)

In questo lavoro il modello digitale 3D del sottosuolo è stato costruito disaggregando/riunendo le suddette Unità nei seguenti *layer* idro-stratigrafici:

- 1 - Gruppo Acquifero A superiore (Complessi Acquiferi A0 e A1 superiore e inferiore)
- 2 - Gruppo Acquifero A inferiore (Complessi Acquiferi A2, A3 e A4)
- 3 - Gruppo Acquifero B
- 4 - Gruppo Acquifero C superiore
- 5 - Gruppo Acquifero C inferiore

## **2.3. Architettura degli acquiferi della conoide dell'Enza**

La descrizione delle geometrie delle Unità Idro-stratigrafiche e l'architettura degli acquiferi della conoide dell'Enza fa riferimento alla sezione di Figura 4 la cui traccia si estende per circa 20 km in direzione S-SW – N-NE da Bannone di Traversetolo (PR) a Praticello (RE).



Figura 4: Sezione Idro-stratigrafica della Conoide dell'Enza con rappresentati i cinque layer di Gruppi Acquiferi (cfr. Fig. 2). A monte dell'alto strutturale di Montecchio Emilia il Basamento Idrogeologico coincide con la base del Gruppo Acquifero C.

Rispetto alle geometrie sedimentarie dello schema classificativo degli acquiferi correntemente applicato sul margine sud della pianura emiliana (vedi Fig. 6, RER-ARPA, 2015), il sottosuolo (alias la conoide) dell'Enza presenta vistose diversità, primariamente causate dalla presenza di una struttura tettonica sepolta, soprattutto attiva nelle età post-Quaternario marino, la cui espressione più vistosa è un alto strutturale che ha fortemente controllato l'assetto dei corpi sedimentari.

Si tratta del noto alto strutturale, che ha la sua culminazione assiale a Monticelli Terme, e che si estende in direzione SE verso Basilicogioiano, Montecchio Emilia e Barco, che ha deformato il fronte appenninico-padano al punto da creare due distinti bacini, il primo a sud detto di *piggyback* e il secondo a nord detto di *foredeep*.

Conseguentemente, nei due bacini in cui si è sviluppata la conoide dell'Enza, l'architettura dei Gruppi e Complessi Acquiferi è assai diversa, con quello interno (sud) sostanzialmente occupato dai depositi più antichi dei Gruppi Acquiferi C e B e quello esterno (nord) dominato dai depositi più recenti dei Complessi Acquiferi del Gruppo A.

La migrazione del centro deposizionale verso settentrione è controllata da un crescente tasso di subsidenza registrato negli ultimi 400.000 anni a nord dell'alto strutturale; come mostrato chiaramente dalla sezione di Figura 4, nel tratto Montecchio Emilia - Sant'Ilario d'Enza la base dell'acquifero A passa da circa 10 m a 140 m di profondità. In particolare, l'acquifero superiore (A1), che a Montecchio Emilia sostanzialmente rappresenta tutti e 10 i metri di spessore del Gruppo A, si espande progressivamente verso nord fino a raggiungere lo spessore di 100 m sulla verticale di Sant'Ilario d'Enza.



Ciò comporta che sul fronte dell'alto strutturale di Montecchio Emilia le Unità che ospitano i Gruppi Acquiferi B e C non sono più in grado di offrire risorse idriche sfruttabili in quanto immergono verso nord a profondità molto alte e nella stessa direzione mostrano una transizione laterale a depositi fini di ambiente lagunare e piattaforma interna, i.e., un passaggio da corpi acquiferi ad acquitardi.

### 2.3.1. Basamento idrogeologico

La sezione di Figura 4 oltre a illustrare efficacemente l'architettura dei Gruppi acquiferi sopra descritta consente anche di definire con precisione la superficie fisica che nel presente studio costituisce il cosiddetto Basamento Idrogeologico, vale a dire il "no-flow" di letto del modello di flusso.

Dal pedeappennino fino a poco oltre la culminazione dell'alto strutturale di Montecchio Emilia il basamento è rappresentato dalla base del Gruppo Acquifero C (Unità di Costamezzana/CMZ *auct*) al di sotto della quale si trovano i sedimenti marini pre-Quaternari.

Dal fronte dell'alto strutturale al limite nord dell'area di studio, la superficie che esprime il basamento (linea in tratteggio sulla sezione di Figura 4) si sposta prima all'interno dei depositi del Gruppo Acquifero C e successivamente del Gruppo Acquifero B in conseguenza del fatto che la litologia dei corpi sedimentari C e B presenta una transizione in direzione nord da depositi poroso permeabili a depositi impermeabili di ambiente lagunare e marino marginale, fino a che, subito a nord di Sant'Ilario d'Enza, il Basamento Idrogeologico risulta rappresentato dal tetto del Gruppo acquifero B.

Con il supporto della grafica della sezione di Figura 4 e della mappa delle isobate del basamento idrogeologico presentata in Figura 5 si può sinteticamente descrivere l'architettura sedimentaria della conoide dell'Enza come segue.

L'alto strutturale posto nel sottosuolo sulla verticale dell'allineamento Monticelli Terme, Montecchio Emilia, Barco di Bibbiano innalza la superficie basale del Quaternario marino (Unità di Costamezzana/CMZ *auct*), vale a dire la base del Gruppo Acquifero C, a profondità minime dal PC dell'ordine di 25 m in sinistra Enza, e 50 m sulle verticali di Montecchio Emilia e Barco di Bibbiano. A metà distanza tra Montecchio e Barco risalta un abbassamento di questa culminazione assiale che scende alla profondità di 75 m dal PC (Figura 5).

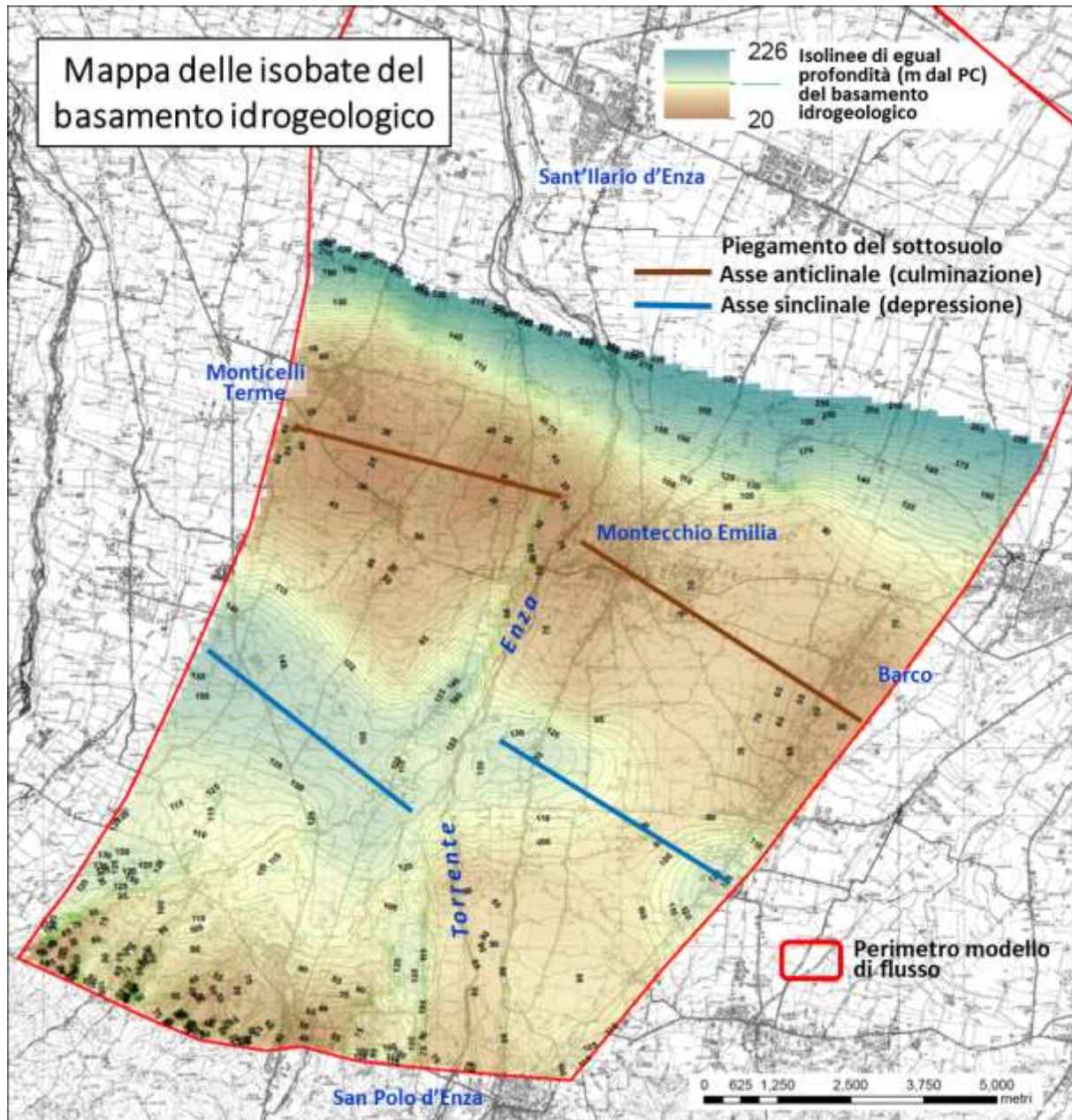


Figura 5: Mappa delle isobate del Basamento Idrogeologico in metri dal PC. L'alto strutturale di Montecchio Emilia separa il bacino di piggyback o interno dal bacino di foredeep o esterno.





Il bacino interno di *piggyback* che si estende dal pedeappennino all'altro strutturale di Montecchio, geologicamente una sinclinale, presenta a sua volta una depressione, sempre orientata in direzione NW-SE, che si presenta un poco disassata nei suoi settori in sinistra e destra Enza (Figura 5). Infatti, in territorio parmense l'asse della depressione corre sull'allineamento Piazza (SP513) - Scornavacca (SP 45) con il basamento idrogeologico posto alla profondità di 135-155 m, mentre in territorio reggiano l'asse della depressione corre sull'allineamento Stramazzone (SP12) - Bibbiano (zona quartiere artigianale sud) con il basamento idrogeologico, posto alla profondità di 130-135 m sulla loro verticale, che risale fino a 90 m in posizione intermedia.

Risulta quindi che il controllo tettonico della sedimentazione è stato forte al punto da forzare lo sviluppo della parte più recente della conoide in un bacino esterno sostanzialmente scollegato da quello che più all'interno è stato definito bacino di *piggyback*. Non è quindi esagerato dire che la cosiddetta conoide dell'Enza è in realtà rappresentata da due conoidi che si succedono nel tempo con i loro depocentri a monte e a valle dell'altro strutturale di Montecchio Emilia.

La conoide del bacino interno di *piggyback* ospita sostanzialmente i soli depositi dei Gruppi Acquiferi C e B che si sollevano verso sud fino ad affiorare nel pedeappennino (Figura 4 e Figura 6), mentre la conoide del bacino esterno di *foredeep* ospita sostanzialmente i soli depositi del Gruppo Acquifero A che a nord della soglia strutturale di Montecchio Emilia si sviluppano con sistemi acquiferi multi-strato mentre a sud della stessa esprimono solo depositi terrazzati di piccolo spessore, poco significativi ai fini del presente studio.

#### 2.4. Schema classificativo degli acquiferi

Alla luce di questa complessità geometrica è utile illustrare le caratteristiche distintive dell'apparato di conoide dell'Enza rispetto allo schema classificativo degli acquiferi correntemente applicato sul margine sud della pianura emiliana (RER-ARPA, 2015) a cui fa pure riferimento il Piano Acque. Tale schema individua sostanzialmente quattro Sistemi acquiferi, da sud a nord:

- Libero
- Confinato superiore
- Confinato inferiore
- Di pianura appenninica.

Questi Sistemi acquiferi sono presentati in Figura 6 all'interno di un più ampio schema idrostratigrafico (RER, 2015). Si tratta di una sezione geologica schematica di sottosuolo della pianura emiliano-romagnola in cui i Sistemi acquiferi sono graficamente suddivisi all'interno dei singoli Sistemi deposizionali. In questa sede, sono di interesse i Sistemi deposizionali di Conoide e di Pianura alluvionale appenninica che, rispettivamente, sono in continuità idraulica con le Conoidi alluvionali affioranti nella pedemontana (a sud) e con la Pianura alluvionale e deltizia padana, detta anche del Po (a nord).

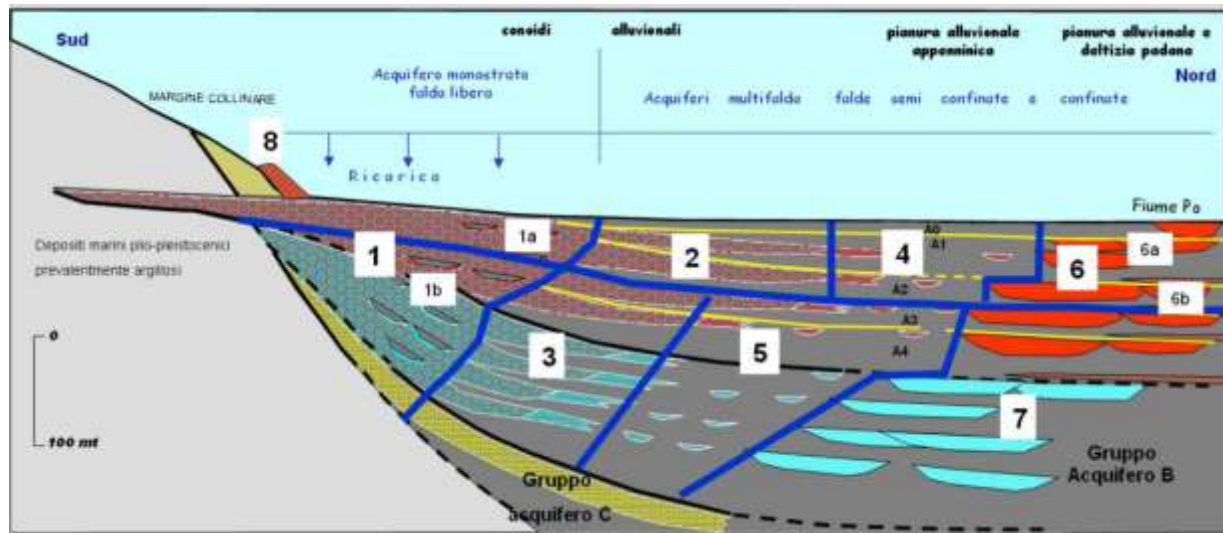


Figura 6: Sezione geologica schematica di sottosuolo rappresentativa della pianura emiliano-romagnola vestita delle unità idrostratigrafiche codificate dalla Regione Emilia-Romagna (RER, 2015)

Le unità interne ai sistemi acquiferi qui considerati sono definite su base idraulica come segue (Fig. 6):

- 1: Conoide alluvionale “amalgamata” - acquifero libero
- 2: Conoide alluvionale “multistrato” - acquiferi confinati superiori (acquiferi A1 ed A2)
- 3: Conoide alluvionale “multistrato” - acquiferi confinati inferiori (acquiferi A3 - C)
- 4: Pianura alluvionale appenninica - acquiferi confinati superiori (acquiferi A1 ed A2)
- 5: Pianura alluvionale appenninica - acquiferi confinati inferiori (acquiferi A3 - C)
- 6: Pianura alluvionale e deltizia padana - acquiferi confinati superiori (acquiferi A1 ed A2, rispettz. 6a e 6b)
- 7: Pianura alluvionale e deltizia padana - acquiferi confinati inferiori (acquiferi A3 - C)
- 8: Conoidi alluvionali affioranti nella pedemontana.

Di seguito è illustrata l’attribuzione dei quattro Sistemi acquiferi qui distinti ai Sistemi deposizionali di Figura 6 e ai layer dei Gruppi acquiferi di Figura 4.

### **Sistema acquifero libero**

Conoide alluvionale interna con depositi ghiaioso-sabbiosi amalgamati, sede di un acquifero libero che comprende i Gruppi Acquiferi A e B.

Nell’apparato dell’Enza l’acquifero libero gioca un ruolo estremamente limitato. Nel bacino interno si colloca nei primi 10 m circa di profondità a ricomprendere il Gruppo Acquifero A e nel bacino esterno può estendersi fino ad un massimo di 20 m di profondità a ricomprendere la parte alta del Complesso Acquifero A1.

### **Sistema acquifero confinato superiore**



---

Conoide alluvionale esterna con depositi perlopiù sabbiosi alternati a depositi più fini, sede delle falde confinate dei Complessi Acquiferi A1 e A2.

Nell'apparato dell'Enza l'acquifero confinato superiore è rappresentato nel bacino esterno dal Complesso Acquifero A1.

### ***Sistema acquifero confinato inferiore***

Conoide alluvionale esterna con depositi perlopiù sabbiosi alternati a depositi più fini, sede delle falde confinate dei Complessi Acquiferi A3 e A4 e dei Gruppi Acquiferi B e C.

Nell'apparato dell'Enza l'acquifero confinato inferiore ha un ruolo molto diverso nei due bacini. In quello interno (sud) è rappresentato esclusivamente dai Gruppi Acquiferi B e C. In quello esterno (nord) è rappresentato dai Complessi Acquiferi A2, A3 e A4 e, solo sull'immediato fronte della struttura di Montecchio Emilia, dai Gruppi Acquiferi B e C.

### ***Sistema acquifero di pianura appenninica***

Depositi sabbiosi alternati a depositi fini volumetricamente prevalenti, sede delle falde confinate dei Complessi Acquiferi A1, A2, A3 e A4 e del Gruppo Acquifero B.

Nel bacino esterno dell'apparato dell'Enza l'acquifero di pianura appenninica è sostanzialmente rappresentato dai soli Complessi Acquiferi A1, A2, A3 e A4.



## 3. Origine e trattamento dei dati implementati nel modello di flusso

Oltre alla costruzione del modello fisico su base idro-stratigrafica vestito del dato di Conducibilità Idraulica ( $k$ ), di cui al Capitolo 2, l'implementazione del modello di flusso, effettuata con il software FEFLOW, ha richiesto l'acquisizione delle seguenti categorie di dati idrologici: 1. piezometria, 2. ricarica dal torrente Enza (dispersione da subalveo), 3. ricarica per infiltrazione verticale (detta anche zenitale) e 4. prelievi da pozzi.

### 3.1. Piezometria

La piezometria è stata ricostruita grazie ai dati tratti dalla rete di monitoraggio piezometrico della Regione Emilia-Romagna e delle ex-Province, gestita da ARPAE, integrati dagli studi idrogeologici dei piani strutturali comunali. La rete comprende anche pozzi finestrati su più acquiferi e monitorati per periodi non sempre coincidenti all'interno dei 18 anni (2000-2018) considerati.

Il periodo preso in considerazione è molto significativo poiché i dati di precipitazione e livelli piezometrici risultano avere un trend costante, ad eccezione di alcune aree interessate da campi pozzi, in cui i livelli piezometrici risentono particolarmente delle portate estratte, in particolare per uso potabile.

La calibrazione del modello di flusso in stato stazionario è stata condotta facendo riferimento al campo piezometrico settembre 2010, individuato come andamento medio nell'ambito della condizione di equilibrio pluriennale dei livelli di falda riscontrato per il periodo 2000-2018.

### 3.2. Ricarica dal torrente Enza

La ricarica dal torrente Enza è calcolata dal software FEFLOW sulla base dei livelli idrometrici presenti in alveo. I livelli idrometrici sono stati estratti dal modello idraulico monodimensionale del torrente Enza implementato in HEC-RAS dall'HyLab dell'Università di Parma, accoppiato al modello numerico delle acque sotterranee FEFLOW per mostrare gli effetti delle variazioni dei livelli idrometrici per sezione sulla ricarica dell'acquifero, al variare delle portate.

Le elaborazioni sono state realizzate in stato stazionario, utilizzando la portata superata 182 giorni l'anno rilevata nella stazione di Sorbolo, per diverse condizioni e annate (2004-2017, 2009, 2017, 2013, 2018).

### 3.3. Ricarica per infiltrazione verticale

L'area di interesse dello studio (Figura 1) riguarda esclusivamente i Comuni di Montechiarugolo, Sant'Ilario d'Enza, Bibbiano e Traversetolo. Su questi Comuni è stata valutata la ricarica verticale da introdurre quale input del modello di flusso. Tale ricarica si compone di due aliquote di ricarica zenitale: da suolo e da aree urbane. Per la stima della ricarica da suolo sono stati utilizzati i risultati del modello di bilancio idrico dei suoli della Regione Emilia-Romagna denominato CRITERIA sviluppato da ARPAE Servizio Idro-Meteo-Clima. Il modello calcola, in funzione del tipo di suolo presente e in base all'andamento giornaliero della precipitazione e delle temperature, i quantitativi di acqua disponibili per il drenaggio verso il basso e quindi l'alimentazione della falda sottostante.



Con riferimento alla Carta dei suoli e alla Carta dell'uso dei suoli della Regione Emilia-Romagna sono stati individuate le tipologie e l'uso di suolo prevalenti.

I dati meteorologici utilizzati nel modello CRITERIA derivano dal dataset giornaliero di precipitazioni e temperature prodotto da Arpae-SIMC, tramite interpolazioni spaziali su griglia regolare, a partire dai valori rilevati dalla rete delle stazioni meteorologiche storiche (ERG5\_Eraclito-Arpae Emilia-Romagna).

Il calcolo della ricarica da suolo è stato svolto per diverse condizioni e annate (2004-2017, 2009, 2017, 2013, 2018).

La ricarica da aree urbane è calcolata a partire dai dati di abitanti residenti e superfici urbanizzate derivanti dal censimento Istat 2011, supponendo perdite del 40 % per le condotte idriche e fognarie e consumo medio di 220 l/ab eq. Questo risultato su annualità secca è identicamente sommato alla ricarica da suolo (anno medio, anno scarso e anni abbondanti) ad esprimere il totale della ricarica per infiltrazione nelle tre condizioni di ricarica suddette.

### 3.4. Prelievi da pozzi

Il corpo dei dati deriva da tre fonti principali:

1. IRETI per l'uso acquedottistico (volumi mensili 2018);
2. database del Servizio Tutela e Risanamento Acqua Regione Emilia-Romagna;
3. decreti di concessione di ARPAE Unità Progetto Demanio Idrico.

Per le fonti di cui ai punti 2 e 3 è stato utilizzato il dato disponibile di volume annuo da concessioni attive rilasciate nel tempo per uso irriguo e industriale.

Ad esclusione dei dati acquisiti da IRETI, l'attribuzione dei prelievi a specifici acquiferi è risultata problematica stanti la mancanza o l'incertezza dell'informazione. Quando disponibile l'informazione relativa alla profondità dei filtri, i prelievi da pozzi sono stati implementati come "Multilayer well". In assenza di informazioni sui filtri, ci si è basati sulla profondità dei pozzi. Nonostante ciò, risulta possibile individuare i Gruppi e Complessi acquiferi prevalentemente sfruttati dai pozzi grazie al fatto che essi sono diversamente ripartiti nei bacini interno (Gruppi B e C) ed esterno (Gruppo A), rispetto all'alto strutturale di Montecchio Emilia.

Il totale dei prelievi idrici relativi a tutti gli usi è stato caricato nel modello di flusso sotto forma di volume giornaliero medio, ottenuto dividendo il volume totale annuo per 365.



## 4. Modello di flusso della conoide dell'Enza

### 4.1. Impostazione del modello

#### 4.1.1. Il codice di calcolo

L'implementazione del modello numerico si è basata sul noto codice FEFLOW (DHI-WASY), tridimensionale con discretizzazione agli elementi finiti.

L'ambiente di simulazione FEFLOW (Finite Element subsurface FLOW system) presenta funzionalità avanzate che lo collocano tra gli standard maggiormente accreditati e validati per le simulazioni di ambienti idrogeologici complessi e in relazione alle finalità specifiche di bilancio idrogeologico del progetto.

Rimandando in particolare per il dettaglio alla letteratura tecnica disponibile, si riportano le seguenti caratteristiche generali del modello, nella release attuale (FEFLOW 7.3, 2020) in riferimento al modulo di flusso utilizzato nel presente progetto:

- discretizzazione con mesh tridimensionale agli elementi finiti, triangolari o quadrangolari;
- discretizzazione con elementi totalmente destrutturati;
- simulazione in zona satura ed in zona non satura;
- simulazione in mezzi porosi e fratturati, con possibilità di assegnazione differenziata delle 3 componenti vettoriali dell'ellissoide di conducibilità idraulica;
- simulazione di elementi discreti (pozzi multilayer, fratture, tubazioni, condotti carsici, ecc.) con approccio idraulico alla Manning-Strichler all'interno del sistema di flusso per filtrazione.

Sono inoltre funzionalità caratteristiche di FEFLOW quelle relative al trasporto di massa in soluzione e di energia termica, non applicate per gli scopi del presente progetto.

#### 4.1.2. Implementazione modello idro-stratigrafico e griglia di calcolo

Utilizzando gli strumenti in ambiente FEFLOW, tutti gli elementi del modello concettuale (limiti unità idro-stratigrafiche, canali, corsi d'acqua, pozzi, limiti impermeabili, trincee drenanti, ecc.) sono inseribili come geometrie vincolanti di costruzione della mesh di calcolo ("supermesh elements"). Pertanto la griglia agli elementi finiti viene costruita sulla base della loro geometria reale e non sulla base di approssimazioni e schematizzazioni, consentendo la trasposizione esatta nel modello numerico degli elementi del modello concettuale. La griglia di calcolo agli elementi finiti triangolari è costituita da 6 layer, divisi dalle superfici importate dal modello concettuale su base idro-stratigrafica precedentemente realizzato in ambiente LeapfrogGeo, e 1.268.740 elementi.

#### 4.1.3. Condizioni al contorno

Al modello sono state assegnate le seguenti condizioni:

- di carico imposto ("Head") al limite di valle idrogeologico, corrispondente al margine distale dell'acquifero di conoide dell'Enza, al limite con l'acquifero di margine appenninico;

- di “Fluid Transfer” o “River boundary condition” lungo la rete idrografica, a partire dalle quote idrometriche simulate con il modello idraulico HEC-RAS e dalla conducibilità idraulica del subalveo. Rimandando per il dettaglio alla letteratura tecnica specialistica, la condizione di fluid transfer, rispetto alla condizione di carico, presenta il vantaggio di consentire l’inserimento di un “constraint” di flusso verticale, condizione adatta alla simulazione, come nel caso generale dei corsi d’acqua in conoide, di simulare corsi d’acqua e reti di canali anche localmente pensili ovvero non in continuità idraulica con la falda;

- infiltrazione verticale diretta, sulla base dei valori calcolati con modello CRITERIA integrati per le aree urbanizzate dai valori stimati per perdita dalle reti di acquedotti e fognature, come precedentemente descritto;

- pozzi di prelievo, inseriti come condizione al contorno “Multilayer well”, in funzione della profondità o dei layer stratigrafici di pertinenza dei prelievi, come precedentemente descritto.

#### 4.1.4. Accoppiamento con modello idraulico HEC-RAS

La condizione al contorno in corrispondenza dell’alveo, è costituita da una condizione di “Fluid Transfer”, dove il modello calcola l’infiltrazione in funzione del battente idraulico / quota idrometrica, ricavata per accoppiamento del modello idraulico HEC-RAS. La geometria dell’alveo è ricavata dal modello Lidar 1x1 m, che risulta coerente con la geometria in corrispondenza delle sezioni di calcolo HEC (Figura 7).

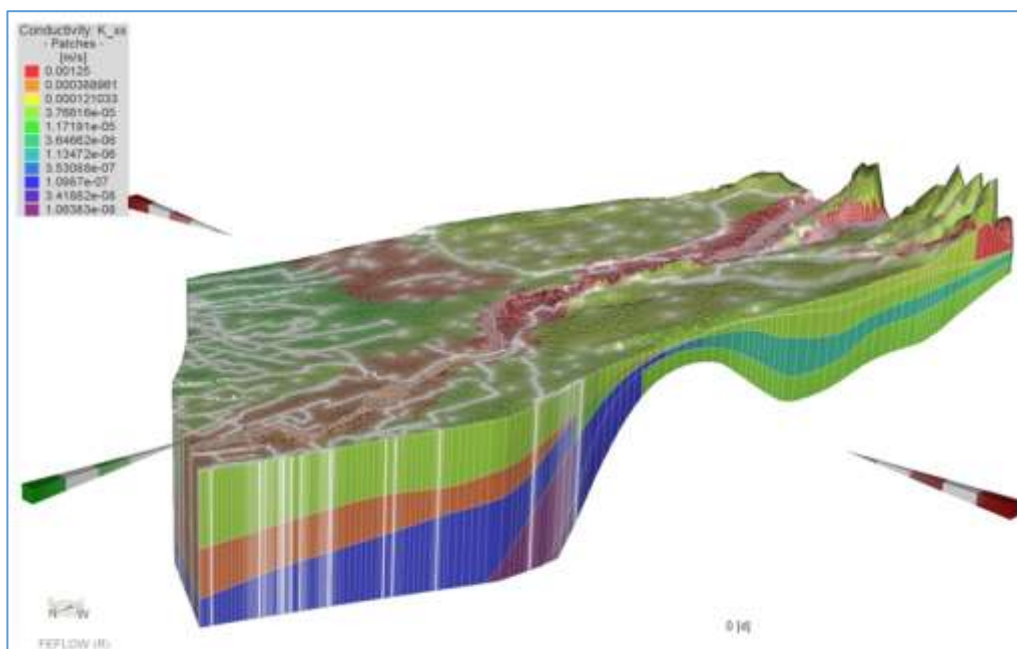


Figura 7: Schema del Modello Numerico accoppiato HEC-FEFLOW



## 4.2. Calibrazione del modello

La calibrazione del modello ha riguardato il parametro di conducibilità idraulica ed è stata effettuata con metodo Trial&Error, ovvero verificando l'errore residuo tra valori piezometrici misurati e simulati conseguenti a una variazione graduale e ragionata del parametro di conducibilità idraulica, nell'ambito delle zone e porzioni stratigrafiche omogenee definite dal modello concettuale di origine in ambiente LeafrogGeo. Quanto sopra al fine di evitare, anche attraverso l'applicazione di procedure "matematiche" di autocalibrazione, di ottenere soluzioni non congruenti con la struttura complessiva degli acquiferi, definita dal modello geologico di partenza.

Per necessaria semplificazione, al fine di variare in fase di calibrazione un unico parametro di riferimento, si è assunto nella calibrazione stessa un rapporto  $K_x = K_y \propto K_z$ , ovvero mantenendo conducibilità idraulica orizzontale costante e l'originario rapporto di proporzionalità tra le componenti orizzontale e verticale già definito dal modello idrogeologico concettuale.

### 4.2.1. Calibrazione in regime stazionario e stima del volume idrico disponibile

La calibrazione è stata condotta sulla base della piezometria media 2000-2018 (da Q182 media, infiltrazione CRITERIA media), con riferimento al campo piezometrico settembre 2010, che descrive il suddetto andamento medio nell'ambito di una condizione di equilibrio pluriennale dei livelli di falda.

La taratura preliminare è stata realizzata sulla base del valore di portata medio calcolato come media delle Q182 annuali osservate per il periodo 2005-2019, pari a 4,59 m<sup>3</sup>/s (dati disponibili dagli annali idrologici).

Il Valore di infiltrazione è stato calcolato tramite modello di bilancio idrico del suolo CRITERIA, come media dei valori annuali di infiltrazione ottenuti utilizzando dati giornalieri di temperatura e precipitazione rilevati dalle stazioni meteorologiche storiche (Eraclito-Arpae) per il periodo 2000-2018.

Alla prima taratura, ha fatto seguito una seconda taratura basata sul valore di portata Q182 medio  $Q_{182} = 3.79$  m<sup>3</sup>/s, calcolato da AdbPo a partire dai dati degli annali idrologici sul periodo 2005-2019 da cui sono state espunte le annualità 2010 e 2014 considerate come eccezionalmente piovose. Tali annualità "anomale" non possono essere riprodotte dai modelli di simulazione climatica, per cui per poter effettuare un confronto tra osservato e simulato è stato necessario non considerarle.



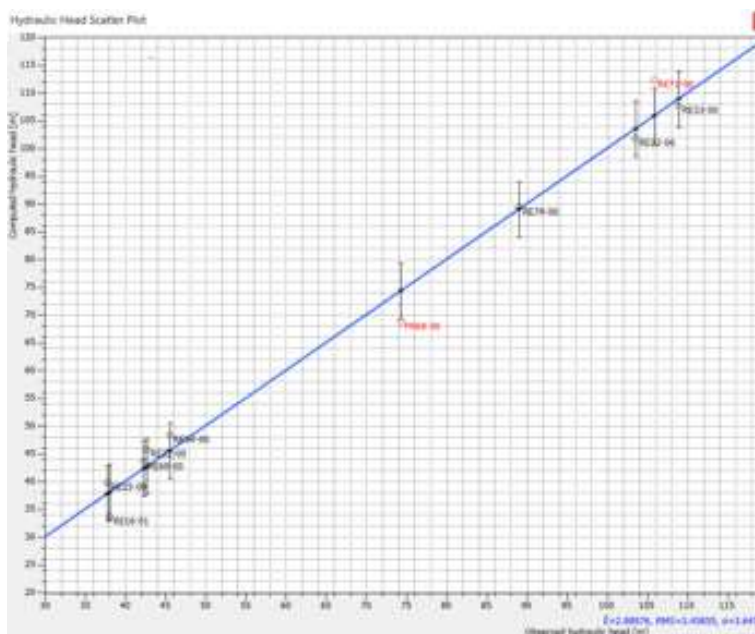


Figura 8: Risultato della calibrazione: confronto tra carichi piezometrici misurati e simulati

Il risultato della calibrazione finale è sintetizzato nel grafico di confronto tra carichi piezometrici misurati e simulati (Figura 8), da cui un errore medio di 2.8 m. A fronte di tale errore residuo si è ritenuto raggiunto l'obiettivo di calibrazione, considerando le semplificazioni dello scenario di verifica (regime stazionario, assunzione di un campo piezometrico medio, riferimento a una condizione media teorica di portata Q182 del T. Enza, margine di approssimazione nell'acquisizione di alcuni parametri di input tra cui la portata locale dei prelievi da pozzi) e l'ambito idrogeologico specifico (elevato gradiente piezometrico, rilevanti variazioni stagionali e pluriennali del carico piezometrico).

A questa nuova taratura definitiva del modello corrisponde un **volume di risorsa di  $5.89 \times 10^9$  m<sup>3</sup>** come riportato nella schermata di Figura 9, nel pannello "Model Domain", ed in Tabella 1.

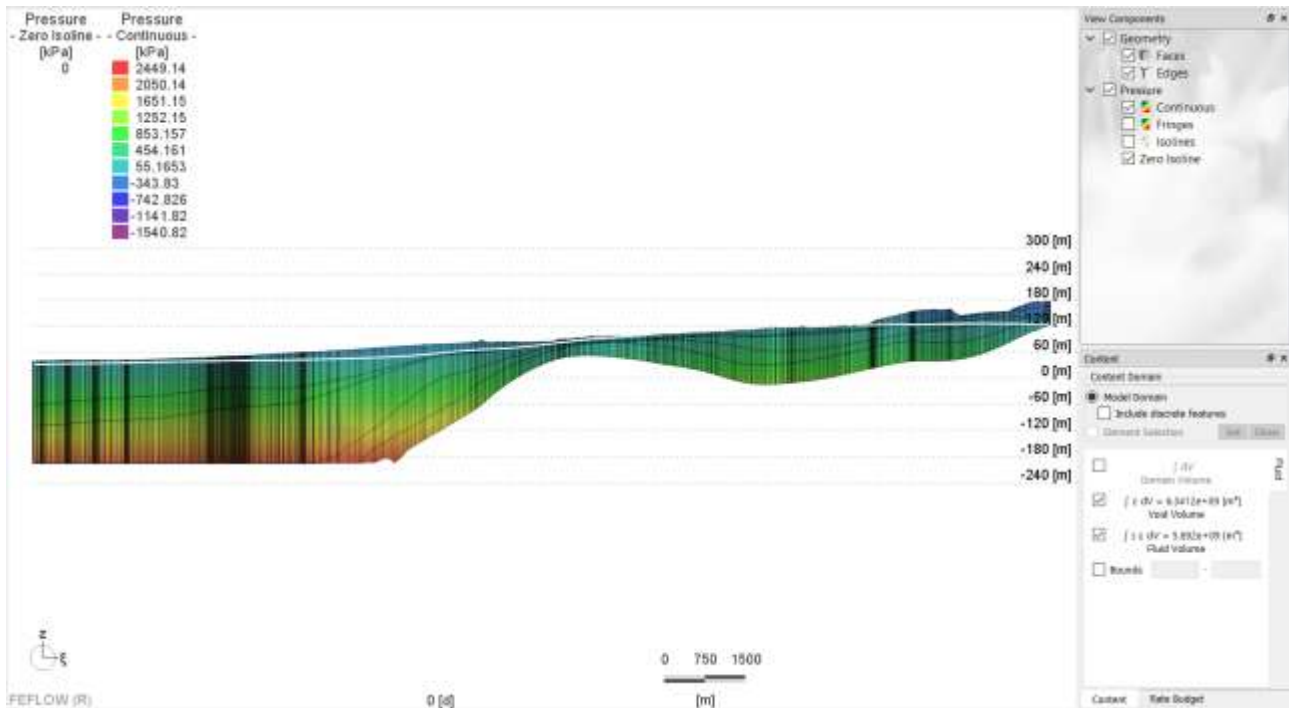


Figura 9: Livello piezometrico al Tempo T=0, termine della fase di taratura ed inizio dell'applicazione degli scenari di Cambiamento Climatico. Nel pannello "Model Domain" si nota il volume complessivo della risorsa idrica pari a  $5.89 \times 10^9 \text{ m}^3$

## 4.3. Bilancio idrogeologico

### 4.3.1. Condizione di taratura (scenario "attuale")

Il bilancio idrogeologico viene calcolato dal modello in termini di portata ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) per ognuna delle condizioni al contorno assegnate al modello stesso e può essere valutata per l'intero dominio o per settori specifici. A partire dal file di simulazione, in cui sono registrati tutti i passi temporali di calcolo, è possibile calcolare il bilancio anche per specifici settori/gruppi di elementi, consentendo ad esempio di valutare i volumi in ingresso ed in uscita da singoli acquiferi o porzioni di acquiferi.

Il modello restituisce (Figura 10) il bilancio idrogeologico alle condizioni al contorno, ovvero calcola i volumi idrici in entrata:

1. ricarica da rete idrica superficiale
2. infiltrazione dal suolo

ed in uscita:

3. da pozzi
4. verso risorgive e rete idrica superficiale



5. da acquifero conoide verso l'acquifero della (bassa) "pianura appenninica" che a sua volta si raccorda verso nord con l'acquifero di base del F. Po

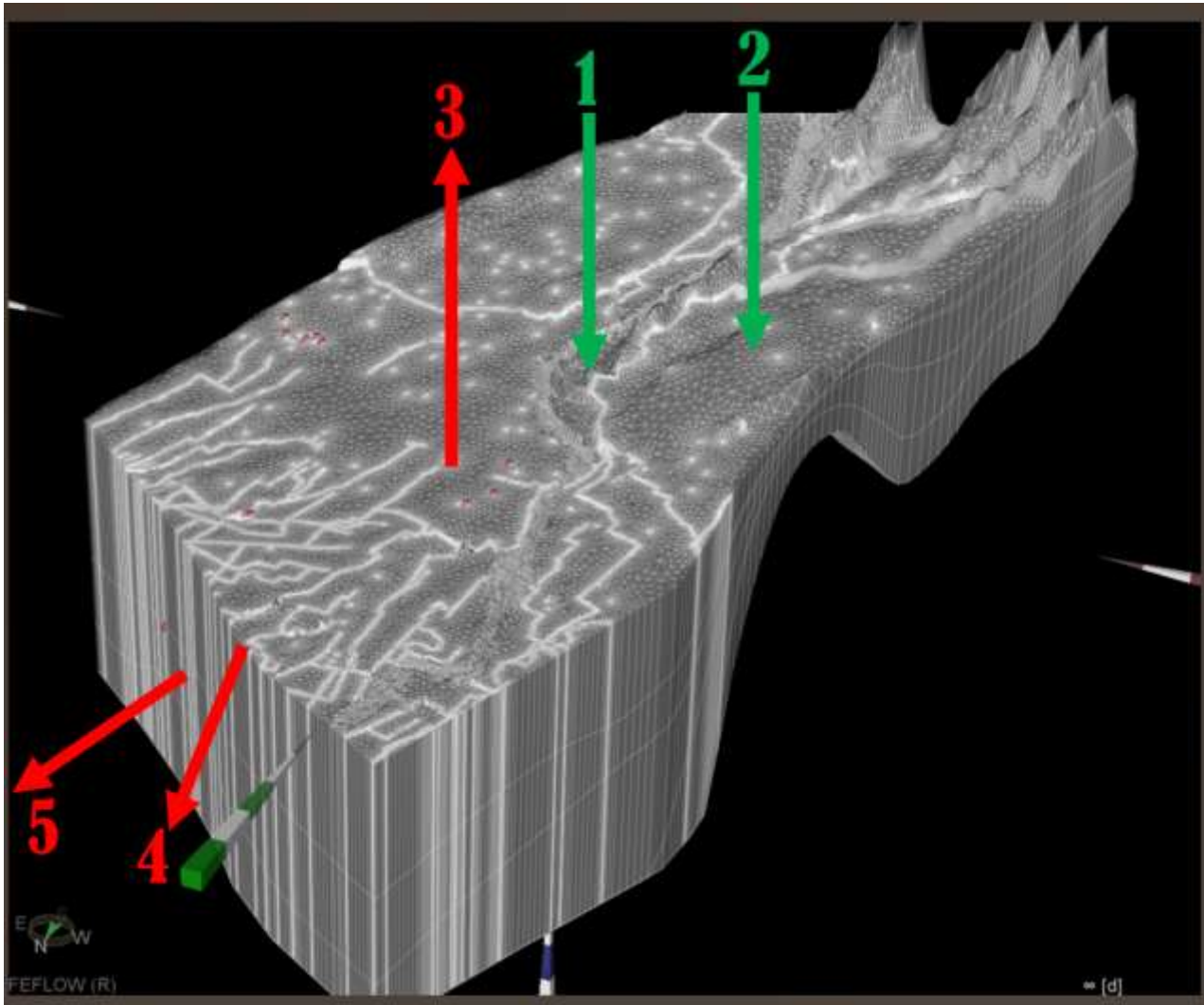


Figura 10: Schema del Modello di bilancio idrologico, con indicazione degli apporti (in verde) e delle perdite (in rosso): 1. ricarica da rete idrica superficiale; 2. infiltrazione dal suolo; 3. da pozzi; 4. verso risorgive e rete idrica superficiale; 5. da acquifero conoide verso l'acquifero della (bassa) "pianura appenninica".



Tabella 1: Bilancio idrogeologico risultante dai due scenari descritti nel capitolo 4.2.1

Portata $Q_{182}$ media T. Enza	Volume utile [ $m^3$ ]	Voci di bilancio idrogeologico [ $m^3/s$ ]				
		1	2	3	4	5
$Q = 4.59 m^3/s$	5.98E+09	1.03420	0.83114	-0.86822	-0.10976	-0.88739
$Q = 3.79 m^3/s$	5.89E+09	0.87688	0.83114	-0.86822	-0.04182	-0.79798

#### 4.3.2. Punti di forza del modello

In base alla risposta del modello si possono elencare i seguenti punti di forza:

1. Condizioni al contorno di carico imposte al solo bordo distale conoide Enza: in assenza di vincoli (es. condizioni di carico imposto a monte e a valle, o lungo la rete idrografica) la quota piezometrica è funzione del bilancio idrogeologico e non dei limiti di carico assegnati al modello;
2. Elevato dettaglio del modello idro-stratigrafico in input e altrettanto elevato dettaglio dello schema di accoppiamento con il T. Enza (modello idraulico HEC-RAS);
3. Calibrazione del modello con limitato «tuning» della parametrizzazione idro-stratigrafica di partenza, prevalentemente con piccoli step Trial&Error, che ha portato ad un modello finale coerente con la ricostruzione idro-geologica e la parametrizzazione idrodinamica di riferimento;
4. Raggiungimento degli obiettivi di calibrazione mantenendo inalterato il campo di infiltrazione derivante dal modello CRITERIA, ovvero confermando l'input idrologico piuttosto che sottoponendo lo stesso a una fase di calibrazione aleatoria.

#### Verifiche in regime transitorio

Le simulazioni eseguite in regime transitorio sono servite per verificare la corrispondenza delle variazioni di falda simulate con quelle misurate in riferimento a differenti annualità e relative condizioni idrologiche.



## 5. Scenario Cambiamento Climatico – RCP 4.5

Per effettuare una stima della probabile diminuzione dei volumi disponibili negli acquiferi della conoide dell'Enza negli anni futuri, è stato scelto di considerare lo scenario di emissioni RCP 4.5, già utilizzato anche nello Studio Enza, e di considerare il periodo 2020-2050 per ottenere i dati meteoroclimatici necessari al calcolo della ricarica degli acquiferi nel modello di flusso già tarato.

### 5.1. Condizione iniziale (media 2000 – 2018)

Nella fase iniziale di questa attività si è assunta come riferimento di partenza al tempo  $t=0$  la calibrazione media (periodo 2000-2018) ottenuta dalle fasi precedenti. In essa sono considerate:

- una condizione di ricarica costante all'equilibrio desunta dal trend lineare nullo dei dati pluriennali di afflusso meteorico (Figura 11);
- il sostanziale equilibrio piezometrico, desunto dalla mancanza pressoché totale di variazioni nei dati piezometrici delle reti di monitoraggio provinciale di Parma e Reggio Emilia (Figura 12).

Conseguentemente la condizione iniziale (media 2000-2018),  $t=0$  per il cambiamento climatico corrisponde ad un equilibrio ricarica-prelievi e ricarica media costante (start  $t=0$  «ideale» per successiva serie pluriennale in CC).

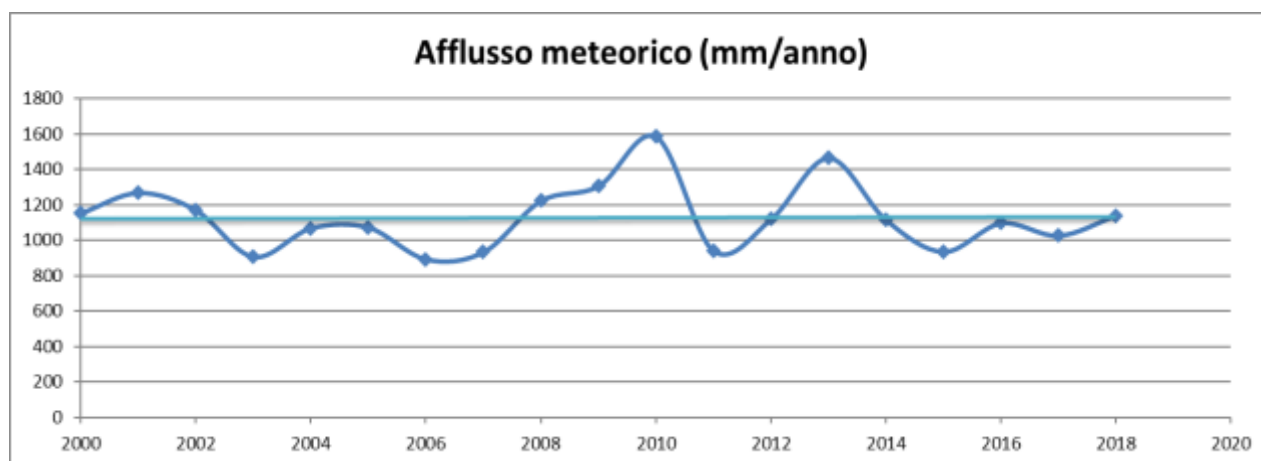


Figura 11: Diagramma degli afflussi meteorici negli anni 2000-2018 e media dei valori pressoché costante.

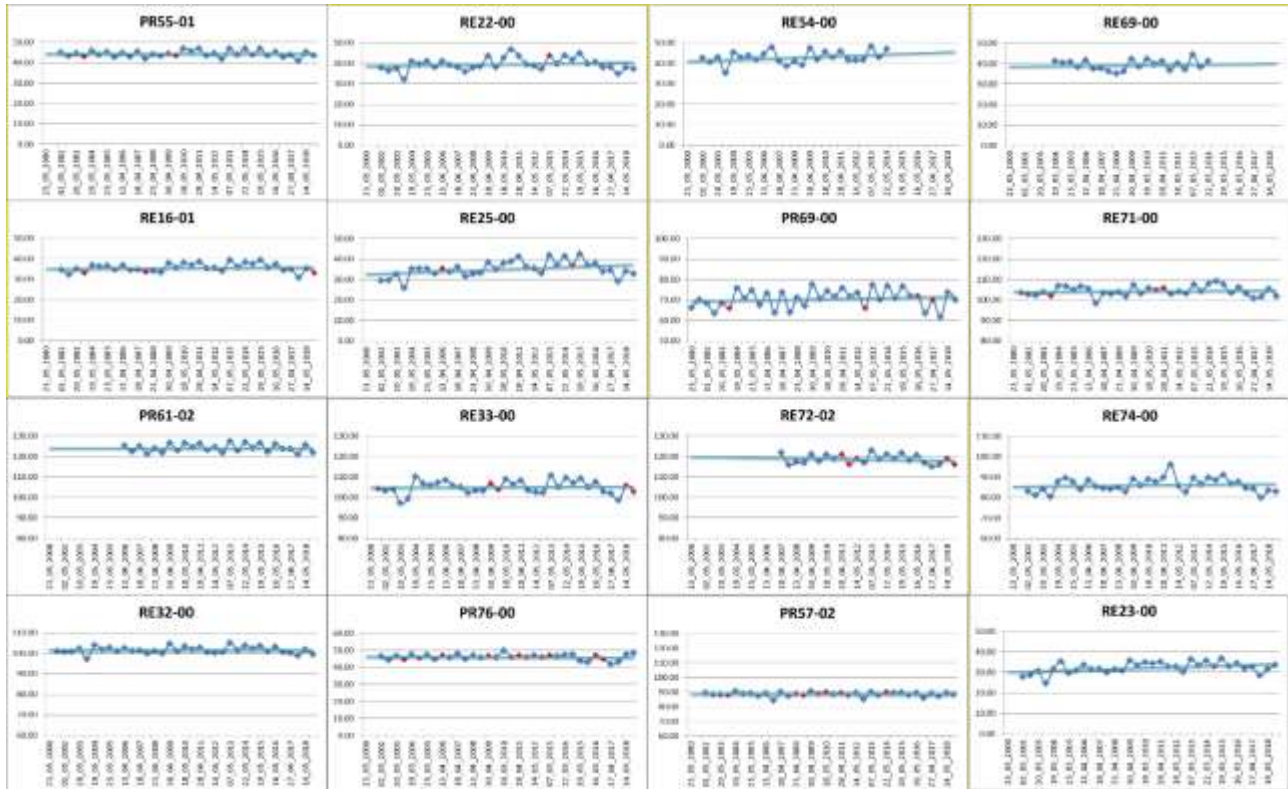


Figura 12: Andamento dei livelli piezometrici in alcuni dei piezometri monitorati nel periodo 2000-2018. I livelli medi sono pressochè costanti per ciascuno di essi.

## 5.2. Input di ricarica in scenario di cambiamento climatico simulato

Il torrente Enza è simulato attraverso l’inserimento dei livelli del corso d’acqua corrispondenti ai valori simulati dalla modellazione idraulica con HEC-RAS per la portata  $Q_{182} = 2.49 \text{ m}^3/\text{s}$ , calcolata da Adbpo utilizzando la catena modellistica Topkapi+Ribasim, e corrispondente alla  $Q_{182}$  media delle  $Q_{182}$  annuali ottenute per il periodo 2020-2050.

Riguardo all’infiltrazione diretta, il valore della ricarica è stato calcolato tramite modello di bilancio idrico del suolo CRITERIA come media dei valori annuali di infiltrazione ottenuti utilizzando dati giornalieri di temperatura e precipitazione simulati in scenario RCP 4.5 (Topkapy+Ribasim) per lo stesso periodo 2020-2050.

### 5.3. Output di bilancio in scenario CC.

Nella Figura 14 sono rappresentati i valori di bilancio (riassunti in Tabella 2) calcolati dal modello in  $m^3/s$  per le condizioni al contorno. In particolare, in tale Figura sono identificabili le seguenti grandezze (in verde afflussi a falda ed in rosso deflussi da falda):

- Infiltrazione dal torrente Enza in falda pari a circa  $0.45 m^3/s$  (Cauchy e Neumann sommate);
- Scambio lungo il contorno di valle (Falda di Po), rappresentato da Dirichlet;
- Emungimenti da pozzi (Wells);
- Infiltrazione distribuita (Distributed Sink/Source).

Active		[m <sup>3</sup> /s]	Fluid
Dirichlet BCs			
-0.62668	+0.13114		
Neumann BCs			
-2.6146e-16	+0.37117		
Cauchy BCs			
-0.0017169	+0.07609		
Wells			
-0.86822			
Distributed Sink(-)/Source(+)			
	+0.50745		

Figura 13: Risultati del bilancio idrogeologico ottenuti dallo scenario di Cambiamento Climatico CC.

Tabella 2. Bilancio idrogeologico risultante dallo scenario CC.

Portata	Volume utile [m <sup>3</sup> ]	Voci di bilancio idrogeologico [m <sup>3</sup> /s]				
		1	2	3	4	5
$Q = 2.49 m^3/s$	5.20E+09	0.44726	0.50745	-0.86822	-0.00172	-0.49554

Considerando prelievi costanti e pari agli attuali, si evidenzia, per un periodo di circa 16 anni, un deficit medio di ricarica significativo. Da questo scenario deriva, in un tempo di circa 20 anni ( $a \approx 2040$ ) una riduzione della quota piezometrica decisamente più marcata nel bacino interno di piggyback (fino ad oltre 35 m) ed inferiore nel tratto intermedio e distale della conoide (fino a 10-13 m circa) il cui acquifero è in continuità idraulica con quello regionale della (bassa) pianura appenninica, a sua volta in equilibrio col livello di base di Po (vedi Figura 15). Lo sviluppo dello scenario complessivo evidenzia un riequilibrio del deficit di ricarica, per l'afflusso da valle idrogeologico, ovvero per contributo dell'acquifero «regionale», attivato dalla riduzione permanente dei livelli piezometrici nel settore intermedio e distale della conoide, i.e. a valle dell'alto strutturale di Montecchio Emilia.



## 5.4. Trend piezometrico in scenario CC

Sono riportate in figura 16 le curve di quota piezometrica in corrispondenza di alcuni dei punti di monitoraggio delle reti provinciali di Parma e Reggio Emilia. Come detto, si osserva un asintoto rispetto al trend di riduzione piezometrica intorno ai 16-20 anni ( $a \approx 2040$ ), spiegato dal progressivo riequilibrio del deficit di ricarica conseguente al contributo idrogeologico da valle dell'acquifero «regionale» attivato dalla riduzione permanente dei livelli piezometrici nel tratto esterno della conoide. La quota di stabilizzazione dei livelli è in ultima analisi funzione del livello base acquifero Po, una condizione al contorno esterna all'ambito di modello Enza, anch'essa verosimilmente influenzata dallo scenario climatico di riferimento. Risulta opportuno segnalare come tali livelli di Po siano stati mantenuti costanti come condizione al contorno di valle della simulazione. Eventuali ulteriori affinamenti della modellazione potrebbero prevedere una progressiva riduzione di tali livelli in accordo con le previsioni di CC.

Nella Figura 14 è riportato il calcolo delle "riserve" ovvero del volume d'acqua stoccato nel complesso idrogeologico della conoide dell'Enza ("Fluid volume" nelle voci in tabelle). Il calcolo è riferito al "volume Totale"-Vtot ("domain volume") comprendente anche il volume stoccato negli acquitardi e nei corpi a medio-bassa permeabilità, e al "volume utile"-Vu ("fluid volume") che rappresenta il dato di maggiore interesse in quanto relativo al complesso degli acquiferi sfruttati e sfruttabili per l'approvvigionamento idrico. Con la voce *Fluid Volume* è indicato il volume utile d'acqua Vu stoccato nell'intero acquifero di conoide dell'Enza al tempo  $t=20$  anni (fine trend di riduzione piezometrico, stabilizzazione per riequilibrio con i livelli di valle). In tale periodo, a minimo piezometrico stabilizzato, è stimata la riduzione di Fluid Volume (Volume utile-Vu) pari a:

$$\Delta(Vu) \approx - 7.8 E+08 \text{ m}^3$$

in percentuale pari ad una riduzione circa del 13% così calcolata:

$$(W_{attuale} - W_{cc}) / W_{cc} (\%) = (5.89E+09 - 5.2E+09) / 5.2E+09 = 6.9e+08/5.2e+9 = 13.3\%$$

Il volume di risorsa idrica in scenario di cambiamento climatico risulta compreso a quote piezometriche inferiori agli attuali livelli minimi, e pertanto, relativi alle cosiddette "Riserve permanenti" o "riserve non rinnovabili".



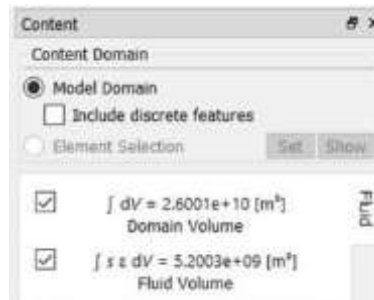


Figura 14: Bilancio Idrogeologico a venti anni, che rimarrà pressoché invariato anche a 100 anni nell'ipotesi di mantenimento dei livelli di Po costanti in CC.

Nello scenario a venti anni ( $a \approx 2040$ ), come da grafico piezometrico riportato in Figura 16, i livelli risultano già totalmente stabilizzati. In Figura 15 è riportato il profilo piezometrico stabilizzato dove si evidenzia come l'acquifero del bacino interno di piggyback, non subirebbe il *cutoff* da parte dell'alto strutturale di Montecchio Emilia, ovvero risulterebbe ancora in continuità idraulica con il bacino esterno della conoide mantenendo la possibilità di essere "soccorso" dall'acquifero di base di pianura.

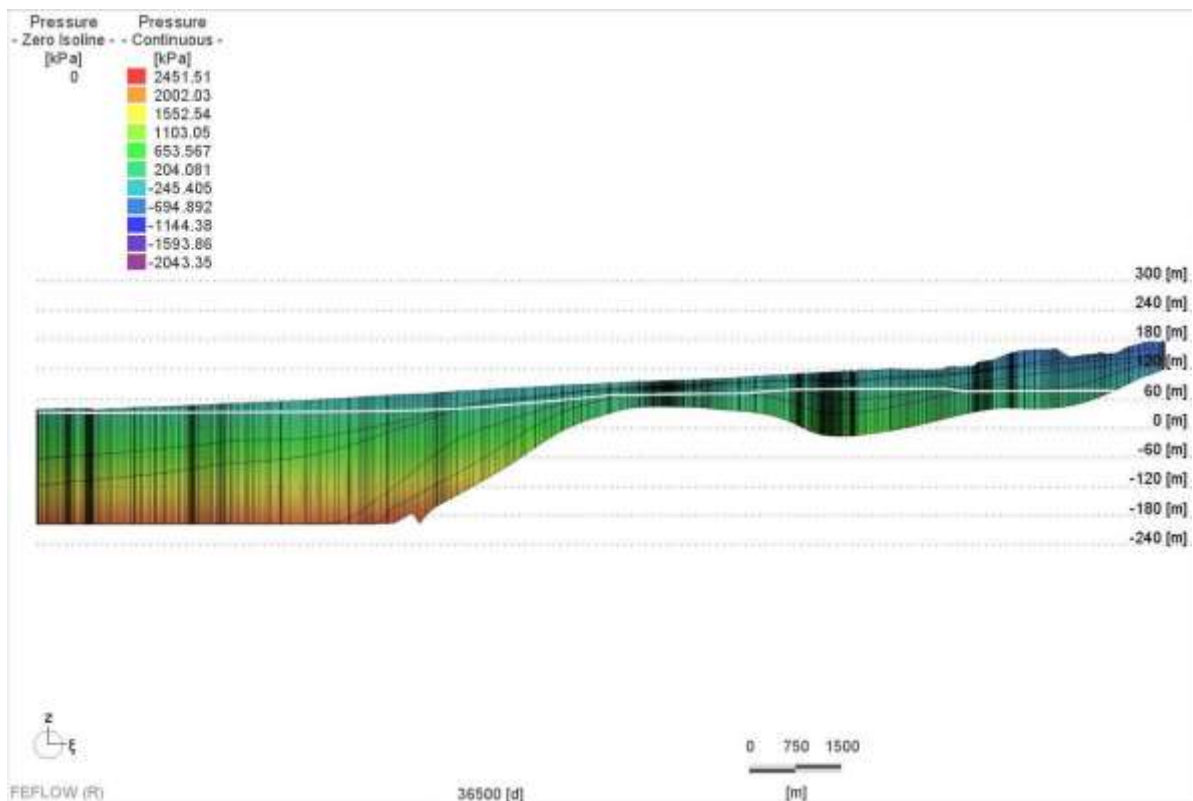


Figura 15: Profilo piezometrico stabilizzato a 100 anni.



La variazione dei livelli piezometrici è evidenziata in Figura 16, nella quale si nota come i livelli si abbassino considerevolmente nella parte alta del conoide a monte dell'anticlinale e come essi presentino variazioni più ridotte in prossimità della zona bassa di pianura, ove essi risultano controllati dai livelli della falda di Po.

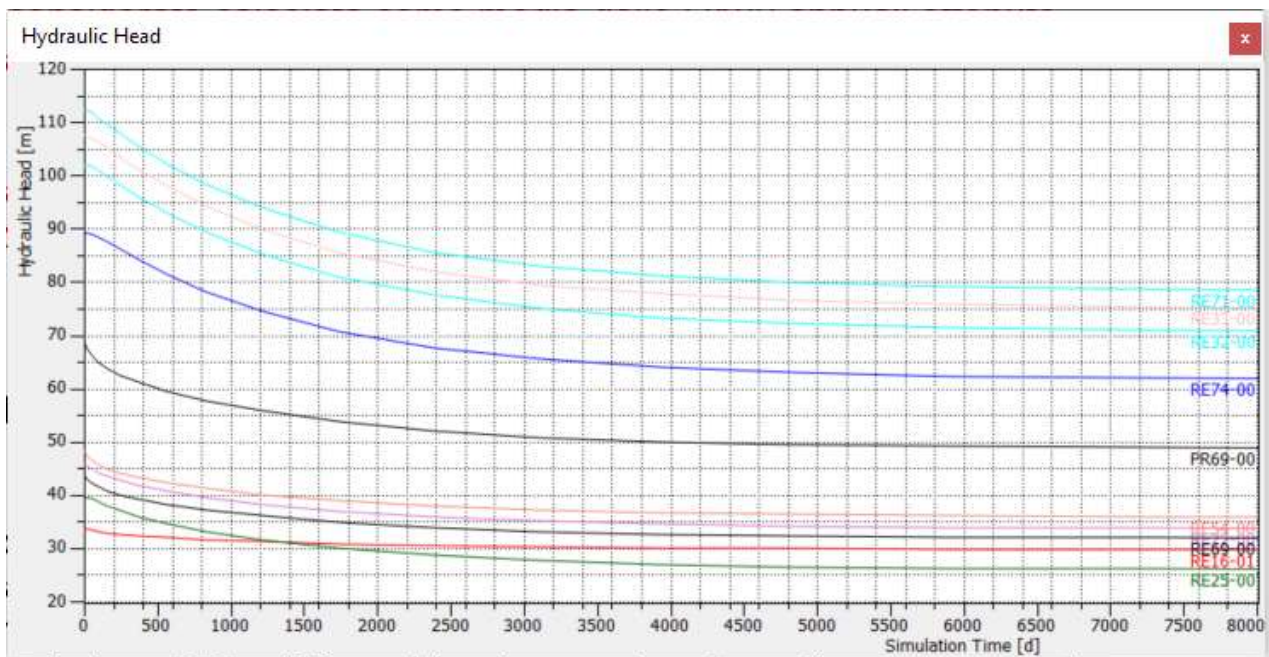


Figura 16: Variazione dei livelli piezometrici in alcuni dei punti monitorati durante lo scenario di CC, limitata a 20 anni, ove si osserva la stabilizzazione dei livelli in modo evidente.



## 6. Conclusioni e commenti

Per le interpretazioni geologiche ed idrostratigrafiche che sono servite all'elaborazione del modello geologico/idrostratigrafico 3D ci si è basati sulle conoscenze e sui dati acquisiti durante il rilevamento dei Fogli Geologici in scala 1:50.000 (Progetto C.A.R.G) ed in particolare sono stati consultati il Foglio 199 "Parma Sud" ed il Foglio 200 " Reggio nell'Emilia" ed i relativi elaborati: "Geologia di Sottosuolo" e "Note Illustrative"; un ulteriore lavoro di fondamentale importanza è stata la consultazione della pubblicazione "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna" ( scala 1:250.000; AGIP-RER - 1998). Infine per gli scopi di questo lavoro è risultato fondamentale studiare e descrivere il sottosuolo secondo i criteri dell'idrostratigrafia che è quella branca che studia l'architettura dei bacini idrogeologici attraverso la definizione e la mappatura di unità idrostratigrafiche (Maxey, 1964; Seaber, 1988), vale a dire corpi geologici più o meno complessi, cartografabili, in ciascuno dei quali ha sede un sistema idrologico ragionevolmente distinto.

Inoltre per individuare e descrivere le unità idrostratigrafiche del sottosuolo si è utilizzato il metodo della stratigrafia fisica e sequenziale (sensu Mitchum et alii, 1977) che, utilizzando i dati di cartografia geologica sopra menzionati e la relativa banca dati geognostica, consiste nell'evidenziare e correlare, anche a scale diverse, i contrasti di facies e le superfici che le separano (discontinuità stratigrafiche).

Tali attività hanno permesso di definire bene l'ambito di studio in 3D, di individuare un modello concettuale a 5 layer e di calcolare la conducibilità idraulica, indispensabili per il successivo passo di sviluppo del modello di flusso con il software FEFLOW.

I dati in ingresso necessari per lo sviluppo del modello di flusso sono rappresentati da: macro caratteristiche geometriche (modello concettuale sopra descritto); infiltrazione da torrente Enza, ricavata dall'accoppiamento di FEFLOW con modello idraulico monodimensionale HEC-RAS; infiltrazione da canali simulata in FEFLOW; infiltrazione verticale diretta media, calcolata utilizzando il modello di bilancio idrico del suolo CRITERIA; infiltrazione da suolo urbanizzato; prelievi da pozzo per i diversi usi.

Il dato in uscita dal modello di flusso è rappresentato dalla simulazione dei livelli piezometrici, oltre che dal calcolo della risorsa idrica totale ed utilizzabile in un determinato periodo.

La procedura di taratura del modello di flusso in FEFLOW è stata eseguita su dati misurati nel periodo 2000-2018, sia in ingresso (infiltrazione da torrente Enza - accoppiamento con modello idraulico monodimensionale HEC-RAS, infiltrazione da canali simulata in FEFLOW, infiltrazione verticale diretta media - utilizzando il modello di bilancio idrico del suolo CRITERIA, infiltrazione da suolo



urbanizzato), sia in uscita (piezometria media di riferimento per il periodo 2000-2018), con limitato “tuning” della parametrizzazione idro-stratigrafica di partenza.

Il modello finale è risultato coerente con la ricostruzione idro-geologica e la parametrizzazione idrodinamica di riferimento.

Dalla procedura di taratura del modello di flusso è stato possibile stimare il **volume medio di risorsa idrica utilizzabile** immagazzinato al momento attuale (periodo 2000-2018) nel sistema idrogeologico della conoide dell’Enza, pari a **5.89 Miliardi di m<sup>3</sup>**, come riportato nella schermata di Figura 9, nel pannello “Model Domain”, ed in Tabella 1, rispondendo quindi al primo degli obiettivi dello studio.

Il modello di flusso, tarato su dati osservati, è stato successivamente utilizzato per condurre una simulazione sulla base dello scenario di cambiamento climatico dell’IPCC RCP 4.5, noto come scenario di “Forte mitigazione”, dove si assume la messa in atto di alcune iniziative per controllare le emissioni di CO<sub>2</sub>, in coerenza con la scelta già effettuata nello “Studio Enza” per stimare l’evoluzione della quantità di risorsa idrica disponibile nei prossimi decenni.

In tale scenario, si è reso necessario ricalcolare: la portata media, da cui ricavare i battenti idrici necessari per simulare l’infiltrazione dal torrente Enza, ed il valore di ricarica zenitale, sia in ambito urbanizzato che non urbanizzato. Sono invece rimasti inalterati i parametri idrogeologici ottenuti nella taratura precedente, e il valore dei prelievi da acque sotterranee.

Il valore di portata medio utilizzato è stato calcolato come media delle Q182 annuali, ottenute dalla simulazione climatica per lo scenario futuro 2020-2050, e risultato pari a 2.49 m<sup>3</sup>/s (dati forniti da AdbPo).

Il valore della ricarica zenitale è stato calcolato tramite modello di bilancio idrico del suolo CRITERIA come media dei valori annuali di infiltrazione ottenuti utilizzando dati giornalieri di temperatura e precipitazione simulati in scenario RCP 4.5 con catena modellistica Topkapy+Ribasim per il periodo 2020-2050.

In risposta al secondo obiettivo del presente studio, i risultati ottenuti in scenario di cambiamento climatico mostrano al 2040 una generale riduzione del livello piezometrico medio, che consente comunque il mantenimento della connessione idraulica tra il bacino a monte dell’alto strutturale sull’asse Monticelli Terme-Montecchio Emilia e quello a valle, pari ad una **riduzione stimata della risorsa complessiva immagazzinata utilizzabile del 13% circa, corrispondente ad un volume di 5.2 Miliardi di m<sup>3</sup>**.

L’andamento della riduzione dei livelli piezometrici nel tempo mostra un andamento asintotico dal 2040 al 2100, indicando la loro stabilizzazione dopo il primo periodo di forte riduzione (motivo per



# UNIVERSITÀ DI PARMA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA  
E ARCHITETTURA

Parco Area delle Scienze, 181/A - 43124 Parma  
tel +39 0521 905800  
email [dia.amministrazione@unipr.it](mailto:dia.amministrazione@unipr.it)  
PEC [DiplIngegneriaArchitettura@pec.unipr.it](mailto:DiplIngegneriaArchitettura@pec.unipr.it)

---

cui è praticamente equivalente mostrare una simulazione al 2040 e al 2100). Questo andamento è correlato all'ipotesi che l'acquifero a valle dell'area modellata, alimentato dal fiume Po, mantenga costante il suo livello piezometrico medio, consentendo il richiamo di risorsa verso le zone di deficit più a monte.

I risultati delle simulazioni effettuate si basano su diverse semplificazioni ed ipotesi:

- Prelievi da acque sotterranee costanti anche in scenario di cambiamento climatico. Tale ipotesi è chiaramente una semplificazione, ma si è reso necessario introdurla per l'incertezza già presente nel dato attuale, e la notevole mole di approfondimenti tecnici richiesti per poter effettuare una valutazione di possibili trend di prelievo, che avrebbe introdotto ulteriori incertezze nella simulazione
- livello dell'acquifero di pianura alimentato da Po costante nel tempo. Anche questa ipotesi è poco verosimile, ma introdurre variazioni in questa condizione al contorno avrebbe comportato un altro esteso lavoro di modellazione non possibile all'interno dello studio.

I risultati conseguiti dal presente studio devono essere intesi come un primo approfondimento tecnico per valutare le risorse idriche disponibili nel sistema di acquiferi della conoide dell'Enza, ma forniscono la base di conoscenze necessarie per poter proseguire con l'aggiornamento nel tempo del modello di flusso, anche attraverso l'introduzione di nuove conoscenze, riguardanti ad esempio maggiori dettagli sulle condizioni di ricarica o sulle condizioni al contorno, e/o attraverso diverse condizioni di simulazione (regime stazionario-regime transitorio).



## 7. Allegato - Lista e descrizione degli elaborati consegnati

Nel presente paragrafo si elencano gli elaborati informatici utilizzati e prodotti durante lo studio. Gli elaborati sono contenuti in una cartella denominata “CONSEGNA FINALE” e sono così suddivisi:

### 7.1. Sottocartella “CRITERIA”

Questa cartella contiene tutti gli elaborati ed i dati relativi all’impiego di questo software, con ulteriore suddivisione in due sottocartelle come di seguito specificato:

#### 7.1.1. Sottocartella “CRITERIA files”

Contiene i files impiegati per il calcolo del drenaggio zenitale (infiltrazione) su tutte le superfici comprese nell’area di modellazione. L’approccio all’uso del software è stato il medesimo, sia per la fase di calibrazione del modello (dati provenienti dal monitoraggio disponibile negli anni 2000-2018) sia per la fase di simulazione degli scenari di cambiamento climatico RCP 4.5.

In primo luogo si è proceduto alla definizione delle aree sottese dal modello ed al calcolo dei parametri di sito delle singole aree, sulla base della cartografia regionale dei suoli; in questa fase si sono definiti i parametri dei suoli e delle categorie colturali a partire da quanto previsto dalle cartografie regionali. I fogli “Uso suoli” e “Tipo suoli” definiscono queste due variabili di input del modello CRITERIA. Ovviamente tali caratteristiche sono state mediate sulle aree estese, differenziandole per limiti comunali. In particolare, sono definite le varie tipologie nei comuni di Montechiarugolo, Sant’Ilario, Bibbiano e Traversetolo che sono i Comuni che coprono interamente l’area oggetto di modellazione. Le altre variabili di input al modello CRITERIA sono rappresentate dai dati meteo-climatici, estrapolate - per le stesse aree comunali sopracitate - dal dataset climatico giornaliero di precipitazioni e temperature (minima e massima) che copre tutto il territorio regionale (ERG5\_Eraclito - Dataset climatico dal 1961).

Il processo di analisi prevede i seguenti punti, i cui risultati sono raccolti nel file excel allegato denominato “dati output CRITERIA.xlsx”

- a. Uso dei Suoli: sulla base della definizione delle categorie di uso dei suoli delle Province di Parma e Reggio Emilia, si è riscontrata una netta prevalenza dei suoli ad uso EA<sub>g</sub>c (erbacee autunno vernine), EE<sub>g</sub>c (erbacee estive) e EP<sub>pm</sub> (medica e prati), le cui percentuali sono definite nel foglio “Uso dei suoli”. La suddivisione percentuale generale è stata applicata all’area di studio con il calcolo delle relative percentuali di superficie adibite alla specifica coltura. Si è scelto di considerare costante nel tempo questo dato, sia nello scenario di taratura, sia in quello di cambiamento climatico;
- b. Tipo di suoli: Riferendosi alla tipologia dei terreni contemplati nella cartografia tematica regionale, legata al range della conducibilità idraulica satura dei medesimi, si sono individuate le tipologie maggiormente diffuse sull’area di studio, che sono riportate nel foglio “Tipo suoli”; in particolare sono state utilizzate tre categorie di suoli con codici CON5 (CONFINE franco argillosi ghiaiosi), GHI1 (GHIARDO franco limosi) e RNV1 (RONCOLE VERDI franco argilloso limosi). Nel medesimo foglio sono anche indicate le conducibilità idrauliche



sature ad essi associate. Nel foglio “foglio1” sono indicati i tipi di suoli individuati per Comune con le relative conducibilità. Anche questo dato di input al modello CRITERIA, come il precedente, è stato considerato costante nel tempo, sia nello scenario di taratura, sia in quello di cambiamento climatico;

- c. Fogli “comunali” (Montechiarugolo, Sant’Ilario, Bibbiano e Traversetolo): in questi fogli, riferiti al periodo 2000-2018, sono riportati i dati numerici giornalieri di output del software CRITERIA ed in particolare il dato per noi significativo che è quello corrispondente al Drainage (Colonna B). In colonna C sono presenti i dati di precipitazione). Al fondo del foglio, a partire dalla riga 9643, sono derivati i valori dei drenaggi annui e le relative medie totali del periodo. Queste sono le operazioni realizzate sugli output modellati da CRITERIA per definire il drenaggio medio annuo da introdurre nello Shape file di input al FEFLOW per il periodo di “taratura”;
- d. Foglio “Somma dati”: il foglio contiene il riepilogo dei valori calcolati nei fogli comunali per il periodo 2000-2018;
- e. Foglio “RCP 4.5”: questo foglio contiene tutti i valori calcolati giornalmente dal software CRITERIA a partire dal 2011 per giungere fino al 2099 per le diverse tipologie di suoli presenti. I valori giornalieri sono presenti nelle colonne A-F, N-R e Z-AD mentre quelli cumulati nelle annualità sono riportati nelle colonne H-L, T-X e AF-AJ. Questi output sono calcolati variando soltanto i parametri meteorologici così come indicato dagli scenari RCP 4.5 e considerando in particolare Tmassima, Tminima e Precipitazione giornaliera, simulati dalla modellazione Ribasim in scenario futuro. Tutti gli altri input del modello (tipo di suoli, uso suoli, quota media etc.) sono mantenuti invariati nel tempo.
- f. Foglio “Somma dati RCP4.5”. Questo foglio riporta il riepilogo dei valori calcolati con CRITERIA negli scenari di cambiamento climatico.

Una volta che i singoli dati di drenaggio (infiltrazione) sono stati calcolati, si è proceduto a creare manualmente il file Shape di input per il programma FEFLOW, associando ad ogni singola area presente nella cartografia regionale (distinta dunque per Comune interessato) i valori medi di drenaggio derivati dal software CRITERIA e rielaborati nel foglio excel.

## 7.1.2. Sottocartella “programma CRITERIA”

Contiene i files necessari per installare il software CRITERIA su PC ai fini di realizzare eventuali ulteriori elaborazioni.

Infine, nel file descrizione.docx sono contenute le indicazioni riportate in questo paragrafo.

## 7.2. Sottocartella “MODELLO GEOLOGICO LEAPFROGGO”

La cartella contiene tutti gli elaborati ed i dati relativi all’impiego di questo software, con ulteriore suddivisione in sei sottocartelle come di seguito specificato.



Gli elaborati riportati riguardano sia i dati di input in ambiente 3D (software Leapfrog Geo) che i dati di output ottenuti attraverso l'interpretazione geologica in ambiente 3D con la relativa elaborazione del modello geologico 3D. I dati di output sono stati proiettati in coordinate WGS\_1984\_UTM\_Zone\_32N WKID: 32632 Authority: EPSG.

## DATI DI INPUT

### 7.2.1. Sottocartella "Dati Geognostici"

Al fine dell'interpretazione della geologia di sottosuolo sono stati importati in ambiente 3D utilizzando il software Leapfrog Geo i seguenti dati:

- Collar.csv

GISID	SIGLA	PROFONDITA	X	Y	Z
16370	200020P027	3	617875.3125	959808.6875	41.2

- Survey.csv

GISID	SIGLA	PROFONDITA	DIP	AZIMUTH
16370	200020P027	3	90	0

- Lithology.csv

GISID	SIGLA	TETTO	BASE	LITO	CLASSI_LITO
16370	200020P027	1.1	1.9	LA	1

La struttura della banca dati geognostici è riportata nelle figure sovrastanti e nei file di consegna finali sono presenti gli stessi file anche in formato \*.xlsx .

Leapfrog Geo per l'importazione della banca dati geognostici richiede la sequenza Collar – Survey - Lithology:

- La tabella Collar contiene nello specifico il codice ID e la Sigla dei dati geognostici, la relativa profondità, le coordinate piane (Long. X. Lat. Y) e la quota del piano campagna (Z).
- La tabella Survey contiene il codice ID e la Sigla dei dati geognostici, l'inclinazione (Dip) del pozzo/sondaggio geognostico e ed il relativo Azimuth vale a dire la direzione dell'inclinazione del pozzo/sondaggio proiettata su un piano orizzontale rispetto al nord geografico.
- la Tabella Lithology contiene il codice ID e la Sigla dei dati geognostici, le profondità del TETTO e della BASE degli intervalli litologici, le litologie (LITO) ed i rispettivi raggruppamenti nelle diverse Classi Litologiche (Classi Lito; vedi descrizione seguente).





## Collar

First, the collar file is processed. Leapfrog Geo displays the data in the file and summarises how each column will be imported:

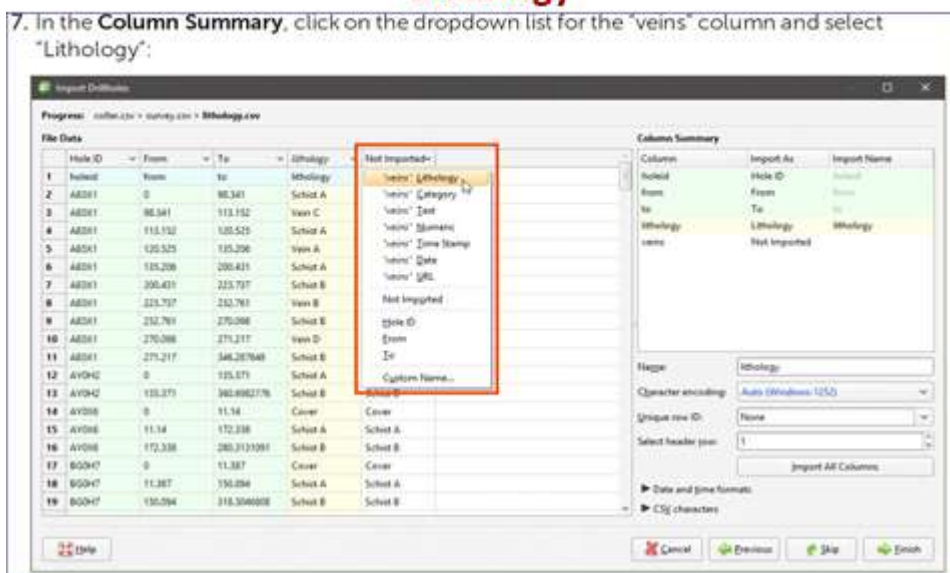
File Data	Column Summary
Hole ID	Hole ID
East (E)	East (E)
North (N)	North (N)
Elev (Z)	Elev (Z)
Max Depth	Max Depth

## Survey

The survey file data is displayed:

File Data	Column Summary
Hole ID	Hole ID
Depth	Depth
Dip	Dip
Azimuth	Azimuth

## Lithology



**Nota:** all'interno del file Lithology.csv le litologie sono state raggruppate in 6 diverse classi litologiche.

Nel campo "LITO" sono riportate le abbreviazioni delle litologie: A=Argille, AL=Argille Limose, LA=Limi Argillosi, AS=Argille Sabbiose, AG=Argille Ghiaiose, LS=Limi Sabbiosi, LG=Limi Ghiaiosi, SA=Sabbie Argillose, SL=Sabbie Limose, S=Sabbie, SG=Sabbie Ghiaiose, GA=Ghiaie Argillose, GL=Ghiaie Limose, GS=Ghiaie Sabbiose e G=Ghiaie.

Nel campo "CLASSI\_LITO" di tipo numerico sono state inserite le 6 diverse Classi Litologiche che raggruppano differenti litologie (vedi figura seguente).

LITO	CLASSI_LITO
A -AL-LA	1
AS -AG -LS -LG	2
SA - SL	3
S - SG	4
GA - GL	5
G - GS	6

Raggruppamento delle diverse litologie nelle 6 classi litologiche "CLASSI\_LITO"



## 7.2.2. Sottocartella “DTM\_Conoido\_Enza”

In ambiente 3D è stato importato anche il modello digitale di elevazione del terreno contenuto nella cartella: “DTM\_Conoido\_Enza”

## 7.2.3. Sottocartella “SHAPE”

In ultimo sono stati importati anche i poligoni delle differenti unità geologiche di superficie presenti all’interno dell’area di studio. Il file shape è denominato “Geologia\_Superficie\_wgs84” ed è contenuto nella directory “Shape”.

## 7.2.4. Sottocartella “SEZIONE\_IDROSTRATIGRAFICA”

Questa cartella contiene il file “sezione\_idrostratigrafica\_concettuale\_Conoido\_Enza.pdf” da prendere a riferimento ai fini dell’inquadramento geologico e dell’interpretazione delle principali unità geologiche nel sottosuolo.

## DATI DI OUTPUT

## 7.2.5. Sottocartella “SHAPE”

I dati di output sono in formato shapefile ed in formato .TIF.

Gli shapefile sono contenuti nella directory “Shape” e sono sia di tipo puntuale che poligonale:

Shapefile puntuali	Shapefile poligonali
● base_layer_1_wgs84.shp	● K_Layer_1_wgs84.shp
● base_layer_2_wgs84.shp	● K_Layer_2_wgs84.shp
● base_layer_3_wgs84.shp	● K_Layer_3_wgs84.shp
● base_layer_4_wgs84.shp	● K_Layer_4_wgs84.shp
● base_layer_5_wgs84.shp	● K_Layer_5_wgs84.shp
Gli shapefile puntuali sopraelencati contengono i dati relativi alla profondità delle basi dei layer in cui è stato suddiviso il dominio del modello geologico 3D. “	Gli shapefile poligonali sopraelencati rappresentano i diversi valori di conducibilità idraulica (K) presenti nei diversi layer del modello 3D. I valori di conducibilità idraulica sono stati assegnati in base alla presenza delle diverse classi litologiche delle banca dati geognostici all’interno di ogni singolo layer del modello.
● Ubicazioni_BD_Geognostici_wgs84.shp	



## 7.2.6. Sottocartella “GRID”

I dati in formato .TIF sono i seguenti e sono contenuti nella directory “GRID”:

- Base\_Layer\_1\_wgs84.tif
- Base\_Layer\_2\_wgs84.tif
- Base\_Layer\_3\_wgs84.tif
- Base\_Layer\_4\_wgs84.tif
- Base\_Layer\_5\_wgs84.tif

I file .TIF sopraelencati contengono i dati relativi alla profondità delle basi dei layer in cui è stato suddiviso il dominio del modello geologico 3D.

I file .tif possono essere importati sia il Leapfrog Geo che in GIS al fine di effettuare elaborazioni ad hoc quali la generazione di contour (isobate) e per generare ulteriori file .tif contenenti i valori degli spessori (isopache) dei diversi layer.

**Nota:** sia i dati in formato shapefile che i file .tif sono stati utilizzati successivamente anche come dati di input per il modello di flusso agli elementi finiti (Codice FeFlow).

## 7.2.7. Sottocartella “Viewer”

In questa sottocartella è presente il file “Modello Geologico 3D.lfview” in cui sono contenuti i principali elaborati in ambiente 3D.

## 7.3. Sottocartella FEFLOW

La cartella contiene tutti gli elaborati ed i dati relativi all’impiego di questo software, con ulteriore suddivisione in quattro sottocartelle come di seguito specificato:

### 7.3.1. Sottocartella “3.79m3s”

Scenario di modello con livelli in alveo T. Enza corrispondenti alla simulazione idraulica HEC-RAS con  $Q=3.79$  m<sup>3</sup>/s

### 7.3.2. Sottocartella “4.59m3s”

Scenario di modello con livelli in alveo T. Enza corrispondenti alla simulazione idraulica HEC-RAS con  $Q=4.59$  m<sup>3</sup>/s (Q182 T. Enza)

### 7.3.3. Sottocartella “Climate\_Change\_2.49m3s”

Scenario di modello corrispondente alla condizione di cambiamento climatico

### 7.3.4. Sottocartella “Hec-Ras\_Progetto\_MS”

Modello idraulico in ambiente HEC-RAS del T. Enza nel tratto in conoide



**UNIVERSITÀ  
DI PARMA**

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA  
E ARCHITETTURA**

Parco Area delle Scienze, 181/A - 43124 Parma  
tel +39 0521 905800  
email [dia.amministrazione@unipr.it](mailto:dia.amministrazione@unipr.it)  
PEC [DiplIngegneriaArchitettura@pec.unipr.it](mailto:DiplIngegneriaArchitettura@pec.unipr.it)

---

#### 7.4. Sottocartella RELAZIONE

La cartella contiene la relazione conclusiva dello studio in formato .docx e .pdf