



## **Riuso delle Acque Reflue: Innovazioni Tecnologiche e condizionamenti sociali e gestionali**

**Il MAR (Managed Aquifer Recharge)  
utilizzando risorse idriche alternative  
per lo stoccaggio nel sottosuolo.**

**Ing. Michele Vurro, IRSA-CNR, Bari**

**Bari, 30 gennaio 2020**

# Che cos'è il MAR (Managed Aquifer Recharge)

## Definizione:

Il MAR è un termine che indica una vasta e crescente gamma di misure a supporto della gestione attiva delle risorse idriche sotterranee a livello locale e di bacino, per:

- un uso più efficiente delle risorse idriche,
- una gestione congiunta delle risorse superficiali e sotterranee
- contrastare l'aumento della intensità degli estremi climatici, in particolare siccità,
- proteggere e migliorare la qualità delle acque nelle falde idriche sotterranee.

**SAT= Soil Aquifer Treatment**

# Evoluzione negli anni del MAR

Esempi di argomentazioni di ricarica delle falde idriche sotterranee che mostra dalla situazione di non intenzionalità alla non gestione e ora al MAR  
(da NRMCC, EPHC e NHMRC, 2009).

## **Ricarica non intenzionale:**

Pulizia della vegetazione a radice profonda o lavorazione del suolo;  
Irrigazione a sommersione;  
Perdite da tubazioni di acqua fluente e da fognature.

## **Ricarica non gestita:**

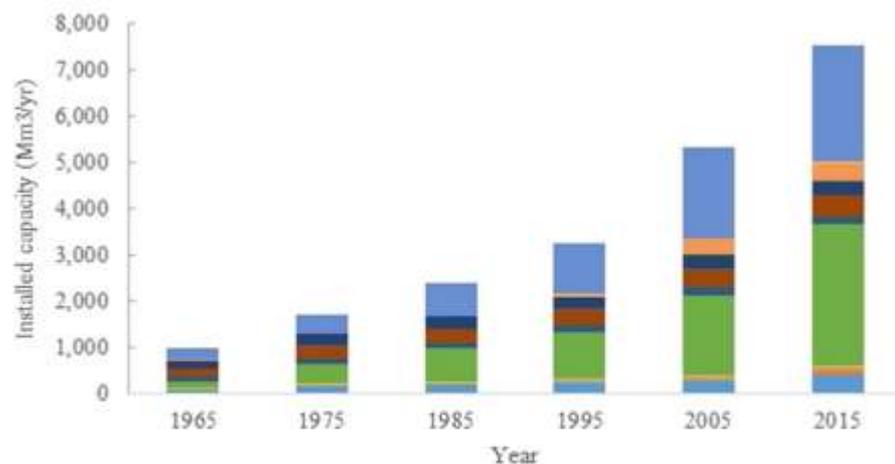
Pozzi e pozzetti di drenaggio delle acque piovane;  
Campi di lisciviazione delle fosse settiche;  
Acqua industriale smaltita in pozzetti;  
Acqua di drenaggio da pozzi in cantieri edili.

## **MAR (per recupero e/o beneficio ambientale):**

Modifica del flusso idrico in canale;  
Infiltrazione ripariale;  
Trincee disperdenti;  
Pozzi di ricarica e aste di ricarica;  
Perdite idriche da serbatoi;  
Raccolta del deflusso a seguito di piogge intense.

# Evoluzione negli anni del MAR

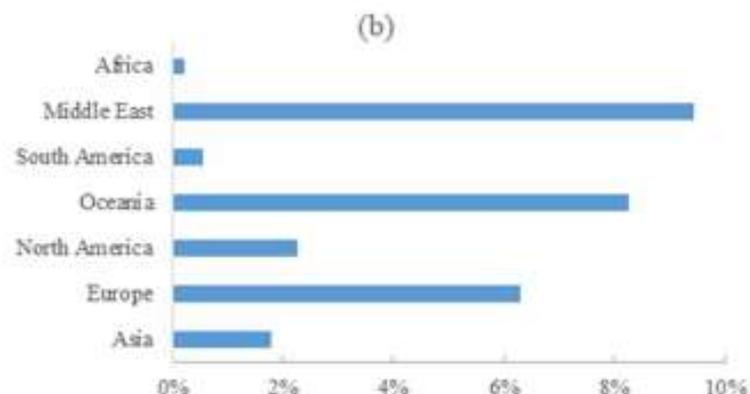
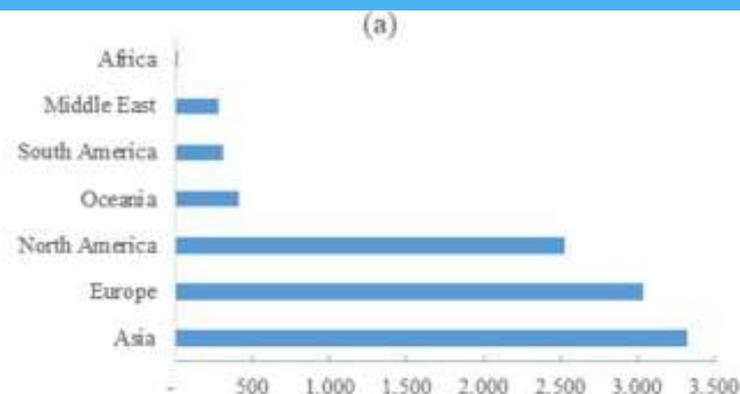
Aspetti quantitativi...



Legend for Figure (a):

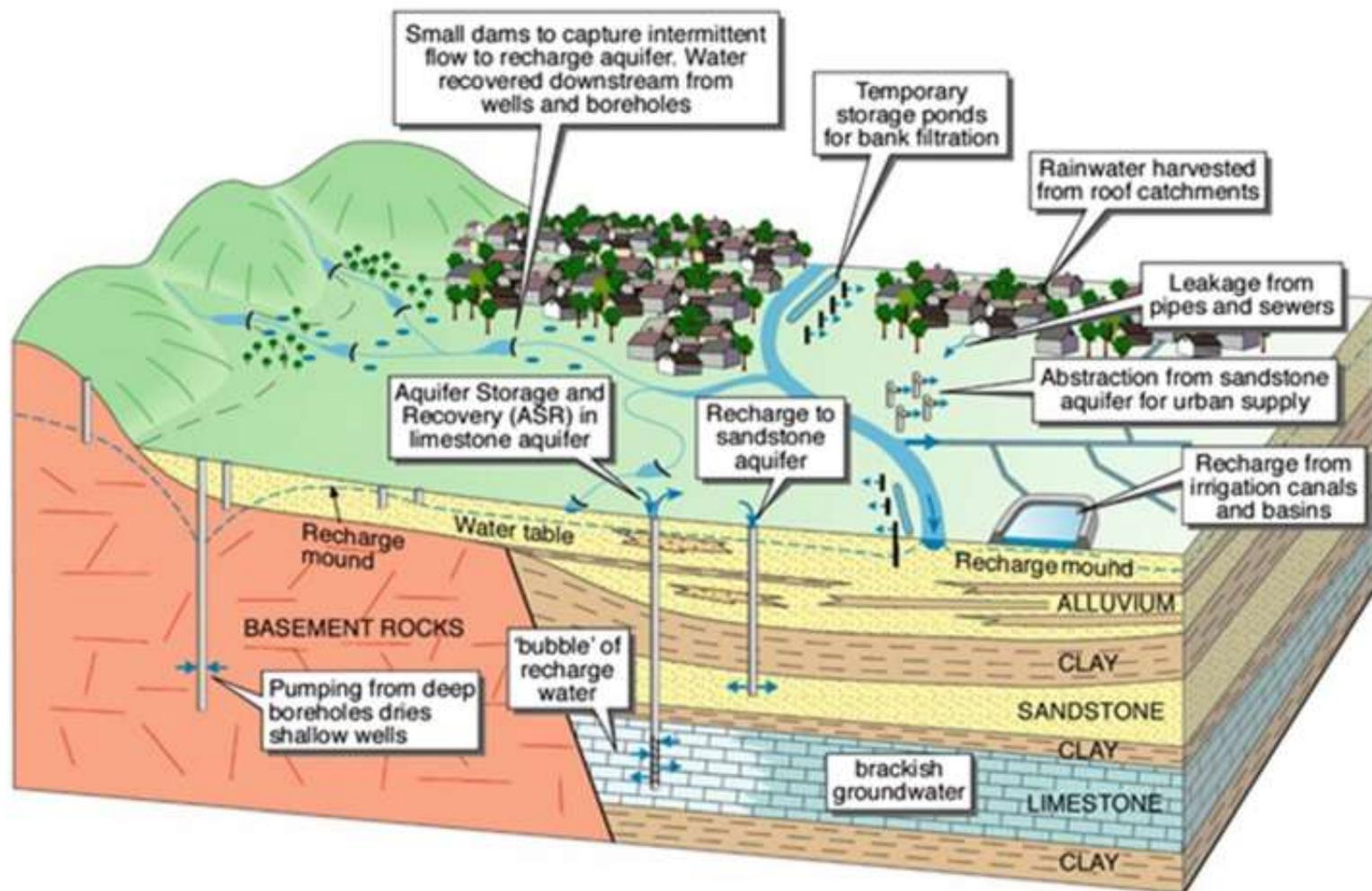
- Australia
- China
- Finland
- France
- India (5 states only)
- Israel
- Italy
- Jordan
- Netherlands
- Qatar
- South East Asia
- Spain
- Southern Africa
- UK
- USA

Gli Stati riportati rappresentano il 76% delle installazioni MAR e il 34% dell'uso delle acque sotterranee



Capacità del MAR al 2015 (a) in Mmc/year; (b) % rispetto all'uso delle acque sotterranee

# Adattamento del MAR



Idrologia e idrogeologia, topografia, uso del suolo, tipo di acquifero, qualità delle acque sotterranee . Sorgenti idriche e metodi di ricarica (Dillon et al., 2009)

# MAR tecniche:

Modifica del flusso idrico in canale,  
Rilascio delle infiltrazioni idriche nei serbatoi



**Oman:** Diga  
lunga 5,640 m e  
alta 8 m.  
Volume di 6.8  
Mm<sup>3</sup>. Una delle  
43 dighe per  
ricarica. Pioggia  
media 140 mm;  
Evaporazione  
potenziale  
2,000 mm/year

# MAR tecniche:

## Infiltrazione della riva del fiume



### **Importanza di una tale tecnica:**

- Rimozione dei patogeni e attenuazione dei microinquinanti;
- Miglioramento della qualità dell'acqua e efficienza economica;
- per creare barriera all'intrusione salina;
- clogging;
- ottimizzazione tecnica ed economica dei processi redox ;
- Schemi di gestione innovativi e flessibilità al cambiamento delle condizioni , come domanda idrica e cambiamento climatico;
- Misure di protezione contro gli allagamenti e combinazioni con metodi sofisticati di post trattamento.

# MAR tecniche:

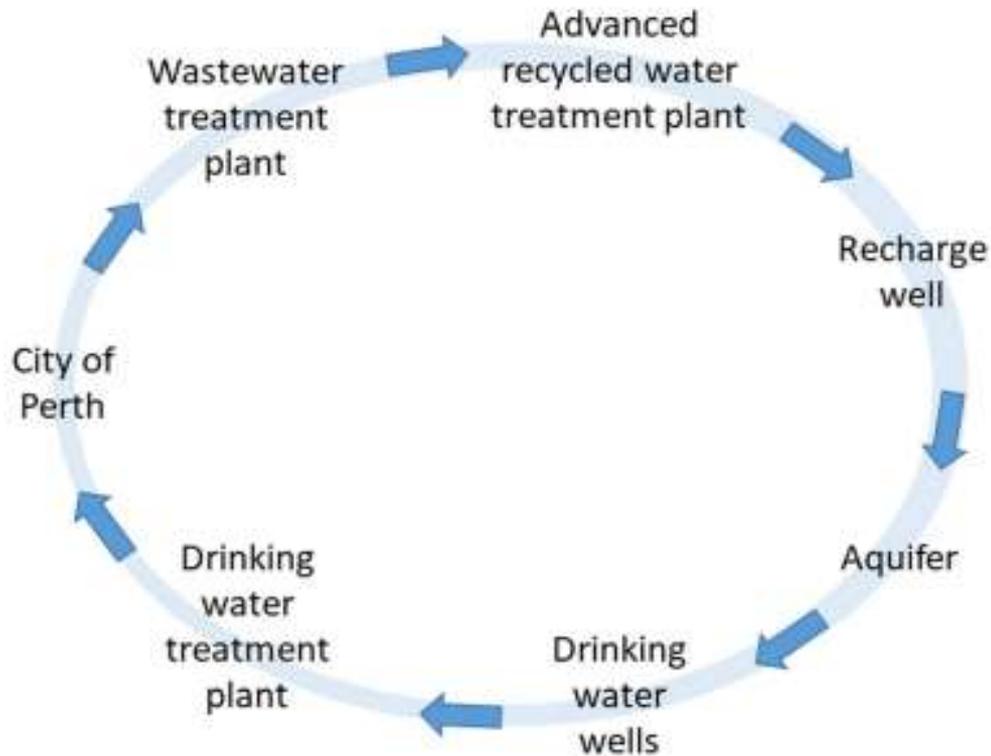
## Bacini di infiltrazione



San Luis Rio Colorado , Mexico, laguna di ossidazione. Infiltrazione intermittente 8,2 Mm<sup>3</sup>/year di acqua trattata (SAT). Funziona da più di 10 anni.

# MAR tecniche:

## Pozzi di Ricarica



Perth Groundwater Replenishment Project. Volume di ricarica 14 Mm<sup>3</sup>/year. Utilizza 4 pozzi di ricarica. Crea barriera all'intrusione salina e permette di incrementare l'uso della risorse idrica sotterranea.

# Evoluzione delle ricerche e delle comunicazioni sul MAR

Date	ISMAR	Location	No. of papers	Proceedings or special issues <sup>a</sup>	Reference
1988	ARG1	Anaheim	63	B	Johnson and Finlayson (1989)
1994	ARG2	Orlando	84	B	Johnson and Pyne (1995)

**Anni**                      1960s   1970s   1980s   1990s   2000s   2011-2017

**Articoli**                      7            69            95            47            115            275

2013	ISMAR8	Beijing	122	SIJ-17 SIJ-12 SIJ-14	Zhao and Wang (2015) Sheng and Zhao (2015) Megdal and Dillon (2015)
2016	ISMAR9	Mexico City	88	SIJ-18 SIJ-18	Stuyfzand and Hartog (2017) Dillon et al. (2018)
All	–	–	903	B/eB-7, SIJ-79	–

<sup>a</sup> B book, eB e-book, SIJ-18 special issue of a journal with 18 papers

# Review paper on Modeling

Software	Number of Applications	Model Type					MAR Method				
		Saturated Flow	Unsaturated Flow	Water Balance/Watershed	Solute Transport	Reactive Transport	Well, Shaft and Borehole Recharge	Spreading Methods	In-Channel Modifications	Induced Bank Filtration	Rainwater and Runoff Harvesting
CFEST [47]	2	x			x		x				
COMSOL [48]	2	x	x		x		x	x			
CXTFIT [42]	6				x		x	x		x	
EASY-LEACHER [45]	5				x	x	x	x			
Eclipse [49]	3	x			x		x				
FEFLOW [34]	17	x	x		x		x		x	x	
HST3D [36]	3	x			x		x				
HYDRUS [39]	3	x	x				x				
MARTHE [38]	4	x	x		x		x	x			
MIKE-11 [50]	2			x			x		x		
MIKE-SHE [40]	3	x	x				x		x		
MOCDENS3D [51]	2	x			x			x			
MODFLOW [33]	73	x					x	x	x		x
MT3DMS (MT3D) [41]	16				x	x	x	x			x
NASRI-BF Simulator [28]	3	x									x
PHAST [37]	2	x			x	x	x				
PHREEQC [43]	30					x	x	x			x
PHT3D [44]	13				x	x	x	x			
SEAWAT [35]	11	x			x		x	x			
SUTRA [52]	5	x			x		x		x		
SWIFT [53]	2	x			x		x				
TOUGH2 [54]	2	x	x		x	x		x			
WaterCress [46]	2			x			x	x			

Ringleb et al. (2016): Modelling of flow and water quality changes in MAR operations has also been extensive and a review of the range of models (unsaturated/ saturated flow, solute transport and reactions, geochemistry and clogging) and their uses in planning, design, and improving operations at MAR sites for all types of MAR

# Costi medi

<b>MAR Scheme Type/ Water Source</b>	<b>Capital cost/ m<sup>3</sup> recharged</b>	<b>O&amp;M cost/ m<sup>3</sup> recharged</b>	<b>Levelised cost (US\$/m<sup>3</sup> recharged)</b>
Recharged wells / recycled water (4 schemes)	\$ 8.07	\$ 0.53	\$ 1.16
Infiltration basins / recycled water (3 Schemes)	\$11.41	\$ 0.84	\$ 1.89
Recharge Wells/ natural water (5 schemes)	\$ 3.29	\$ 0.19	\$ 0.45
Infiltration Basin / natural water (8 Schemes)	\$ 0.77	\$ 0.13	\$ 0.19

Mar Schemes: 2 The Netherland; 11 USA; 6 Australia; 1 New Zealand

Ross A, Hasnain S (2018) Factors affecting the costs of managed aquifer recharge schemes. Sustain Water Resour Manag 4(2):179 – 190. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0210-8>

# Questioni aperte:

- \* Il problema del clogging e relativa monografia sulla gestione di un tale problema;
- \* Necessità di migliori informazioni sul miglioramento della qualità dell'acqua nelle falde acquifere, in particolare per i prodotti chimici organici;
- \* Utilizzo al meglio degli isotopi per studiare l'origine e l'età delle acque sotterranee, i processi di miscelazione, i tempi di transito dell'acqua ricaricata e i processi biogeochimici (denitrificazione, riduzione dei solfati, destino del carbonio organico, dissoluzione di minerali a causa del disequilibrio);
- \* Tassi di attenuazione di patogeni, sostanze organiche tossiche o cancerogene in tracce rilevate nei siti MAR

# Le linee guida per il MAR

Le linee guida Australiane sono le uniche basate sulla gestione del rischio; in particolare:

- \* sulla gestione del rischio conforme con l'approccio basato su piani di sicurezza dell'acqua predisposti dall'Organizzazione Mondiale della Sanità : assicurare protezione alla salute umana e all'ambiente.
- \* sulla gestione efficace del rischio: pericolosità della qualità dell'acqua basata sui recenti risultati su patogeni, composti inorganici, salinità e sodicità, nutrienti (azoto, fosforo e carbonio organico), composti organici, torbidità e particolato, e radionuclidi.
- \* pericolosità associate al flusso, alle portate, ai volumi e livelli di contaminazione e migrazione in rocce fratturate e acquiferi carsici;
- \* **La WFD e la GD identificano** il MAR come una possibilità di gestione delle acque sotterranee che può essere usato per raggiungere il buono stato di qualità delle acque, e richiede a ogni singolo stato membro di emanare la propria normativa in relazione alla applicazione del MAR.

# Perché il MAR ?

- \* Miglioramento delle caratteristiche di qualità dell'acqua
- \* Regolazione ed integrazione dei fabbisogni idropotabili, irrigui, industriali, etc.
- \* Barriera all'intrusione salina
- \* Prevenzione di fenomeni di subsidenza

**in Puglia ?**

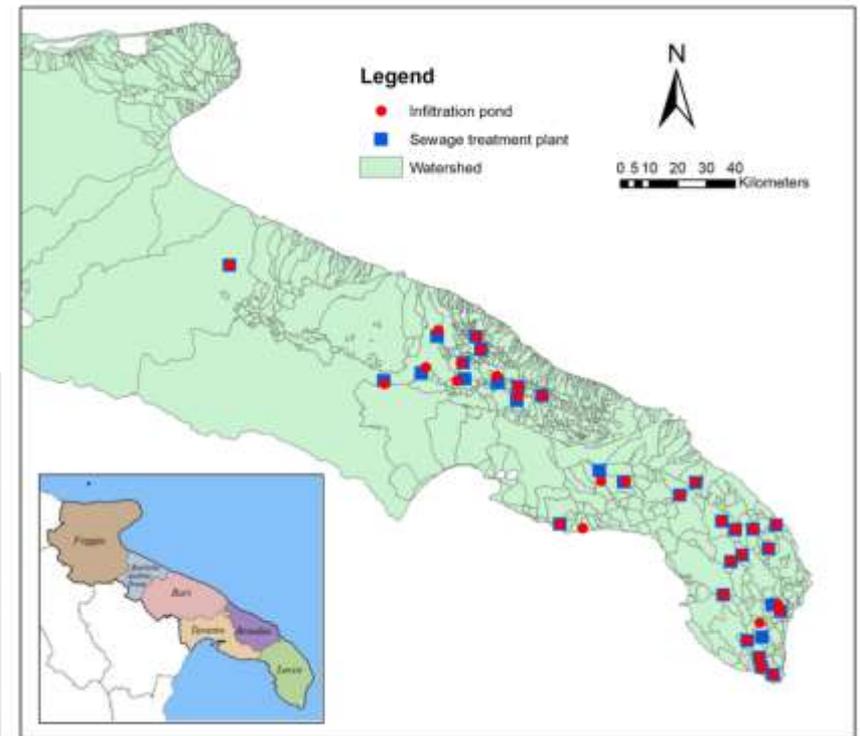
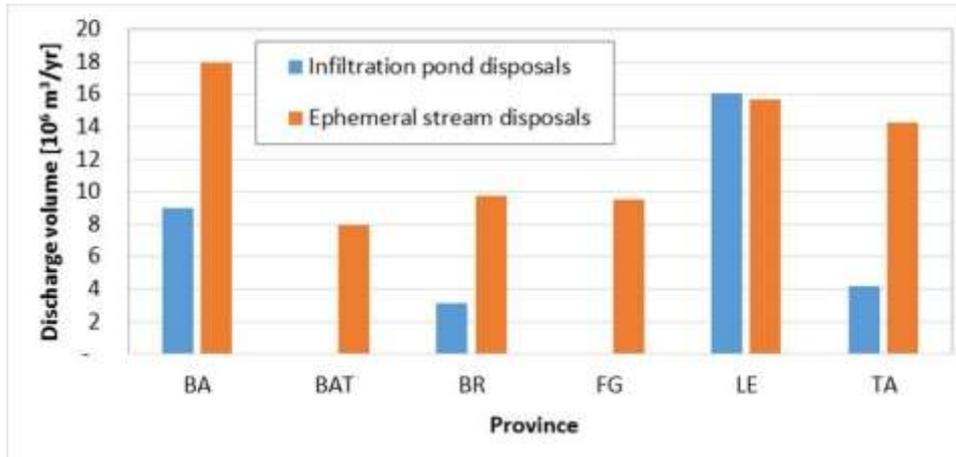
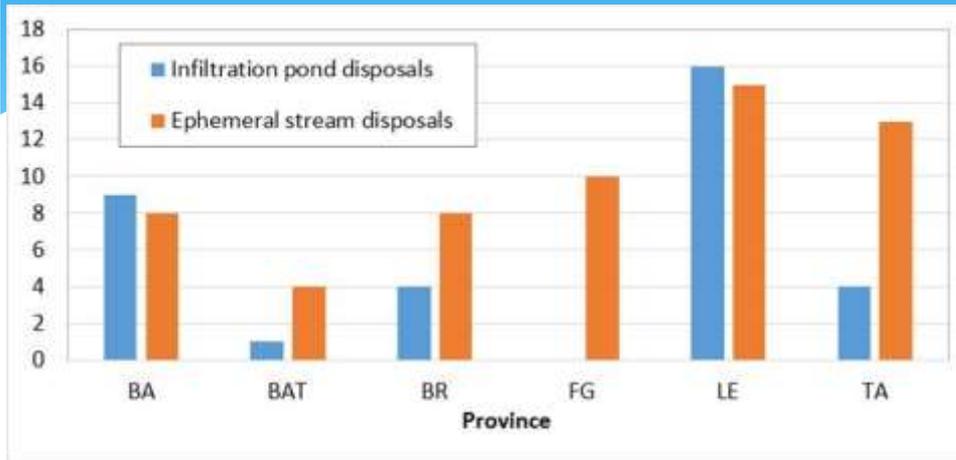
# Atlante dei bacini di infiltrazione per lo smaltimento delle acque reflue depurate:

(De Michele et al, 2019)

## Identificazione di indicatori dei potenziali benefici e rischi ambientali.

- \* Il MAR positivo dal lato quantitativo, è limitato a seguito dei potenziali rischi sanitari e ambientali
- \* In Puglia **32 bacini di infiltrazione sono operativi** con una portata media di 3000 m<sup>3</sup>/d e un totale di infiltrazione annuo di più di **30Mm<sup>3</sup>/yr**. Gli effluenti di 60 impianti di trattamento, attualmente scaricano nelle lame e possono far infiltrare una portata media di 4000 m<sup>3</sup>/d e un volume totale di infiltrazione di più di 85 Mm<sup>3</sup>/yr.

# Stato della situazione .....



# Indicatori prescelti (1)

\* Indice di riutilizzo dell'acqua **WRI**, **BENEFICIO**

$$* WRI [-] = \frac{W_{FI|R}}{W_u} ; R = \sqrt{\frac{W_u}{h_{FI}/\pi}}$$

- $W_{FI|R}$ : volume di acqua utile a soddisfare il fabbisogno idrico delle specie agronomiche presenti all'interno di un'area circolare di buffer;
- $W_u$ : volume di acqua scaricato dal depuratore;
- $R$ : raggio dell'area circolare di buffer;
- $h_{FI}$ : fabbisogno irriguo convenzionale per unità di superficie irrigata.

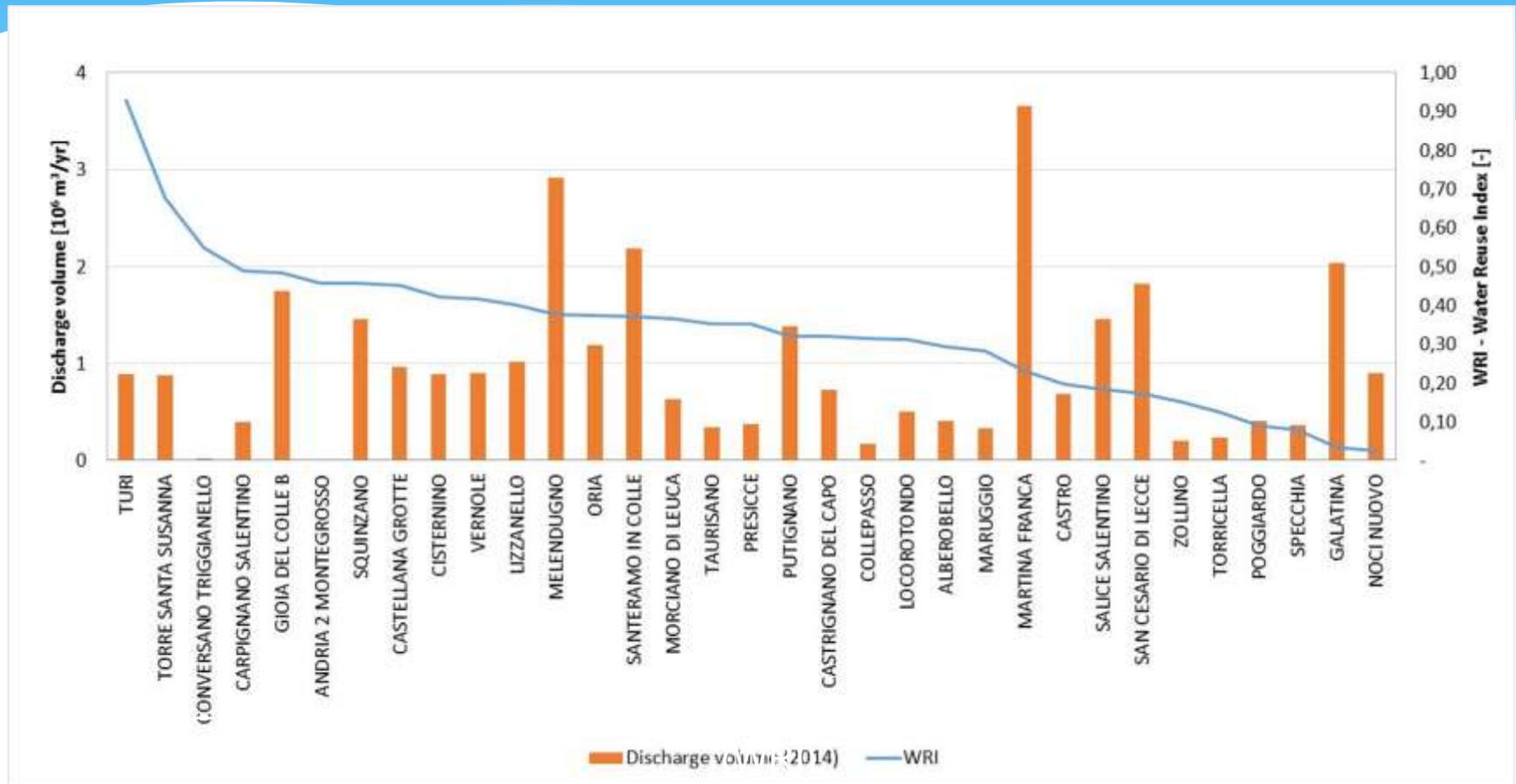
# Indicatori prescelti (2)

Indice di Vulnerabilità all'inquinamento **PVI. MINACCIA**

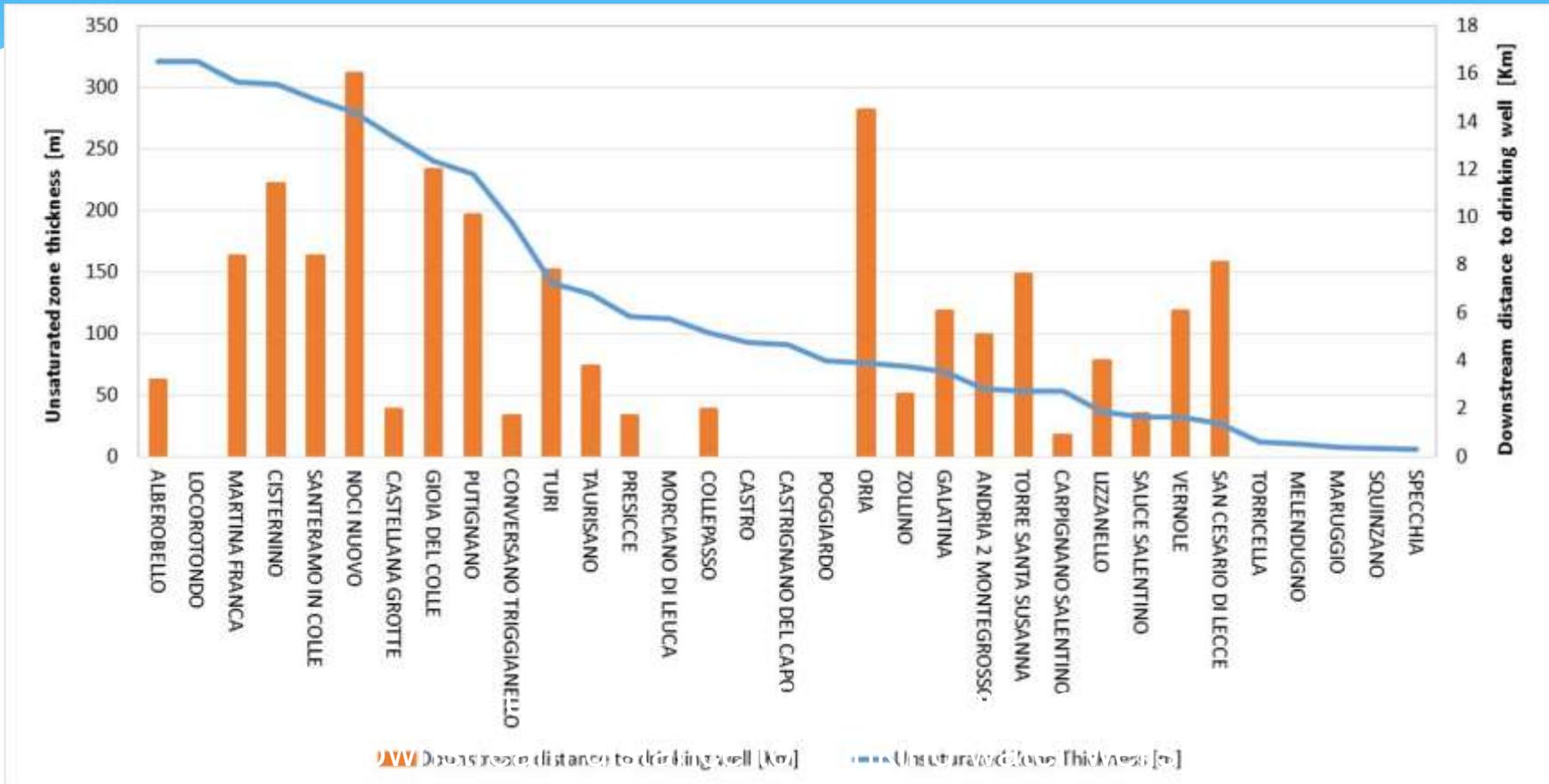
$$PVI [tons/yr/m] = \frac{DE}{Depth_{GW}} V_G = \frac{\sum_{i=1}^n D_i (LV_{std}/LV_i)}{Depth_{GW}} V_G$$

- \* **PVI** rappresenta la massima possibilità di diluizione dell'inquinante nella falda presente a scala locale. Usa il concetto di dose di inquinamento applicato ai parametri chimici di base.
- **DE**: Dose Equivalente;
- **Depth<sub>GW</sub>**: Soggiacenza;
- **V<sub>G</sub>**: Vulnerabilità intrinseca, funzione delle caratteristiche del sito (gradi di carsismo, permeabilità, forme carsiche);
- **D<sub>i</sub>**: Dose dell'i-esimo parametro;
- **(VL<sub>std</sub>/VL<sub>i</sub>)**: fattore di conversione ricavato dal rapporto tra il Valore Limite normativo del COD e il Valore Limite dell'i-esimo parametro.

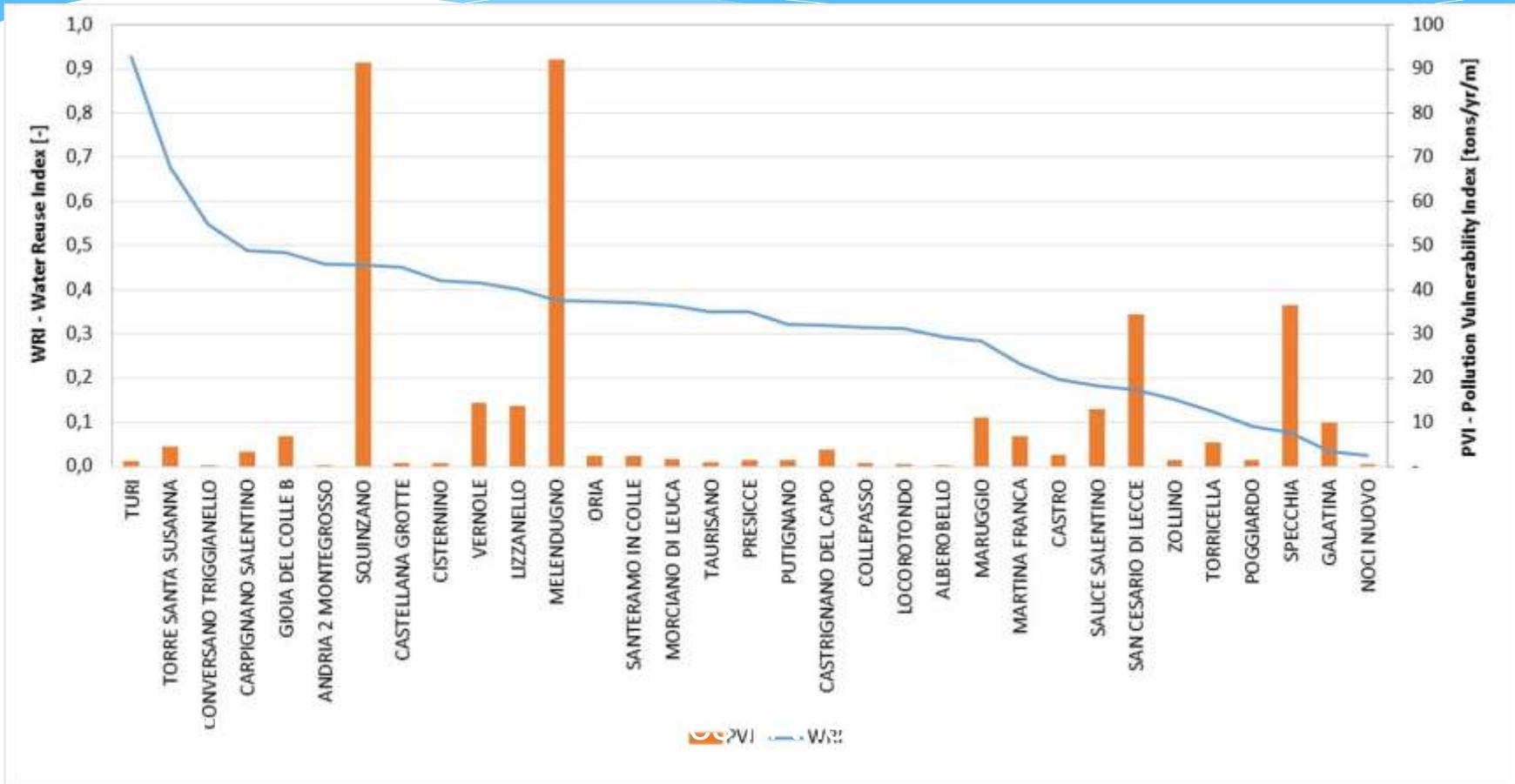
# WRI e Volume trattato



# Distanza dai pozzi potabili a valle



# Sintesi degli indici



# Conclusioni

- \* Benefici ambientali del riuso indiretto per l'irrigazione e i potenziali rischi della contaminazione delle acque ad usopotabile sono riconosciuti come elementi contrastanti per la realizzazione di impianti di MAR e la relativa gestione.
- \* Attraverso semplici indicatori **WRI** and **PVI** è permesso di riconoscere le condizioni più critiche nella pianificazione in una area vasta, come una Regione, nei termini di opportunità e rischio potenziale connesso con gli impianti esistenti.
- \* Questi elementi sono sicuramente utili per una più efficiente individuazione delle strategie di monitoraggio finalizzate alla protezione delle risorse idriche sotterranee.



**GRAZIE per  
l'attenzione**