



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:

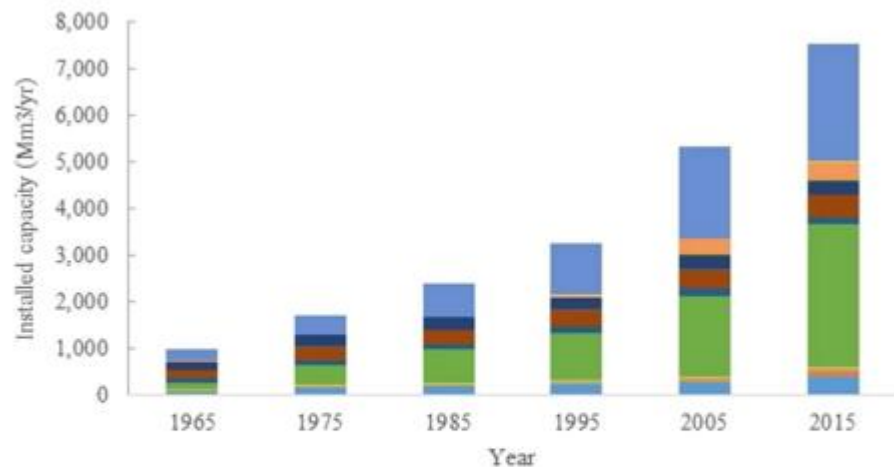
Pozzi e pozzetti di drenaggio delle acque piovane;
Campi di lisciviazione delle fosse settiche;
Acqua industriale smaltita in pozzetti;
Acqua di drenaggio da pozzi in cantieri edili.

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

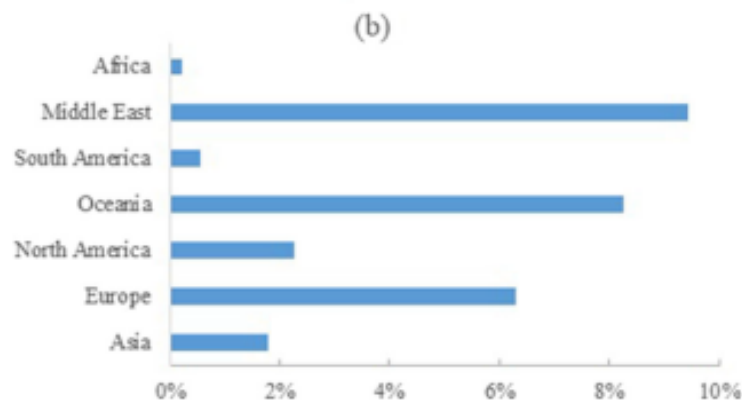
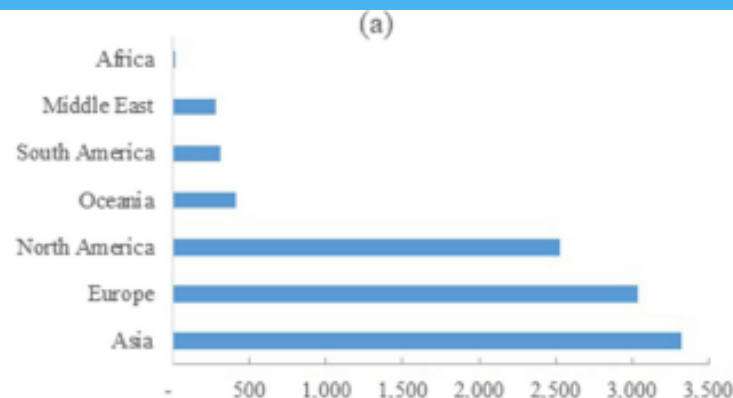
Aspetti quantitativi...



Legend for Figure (a):

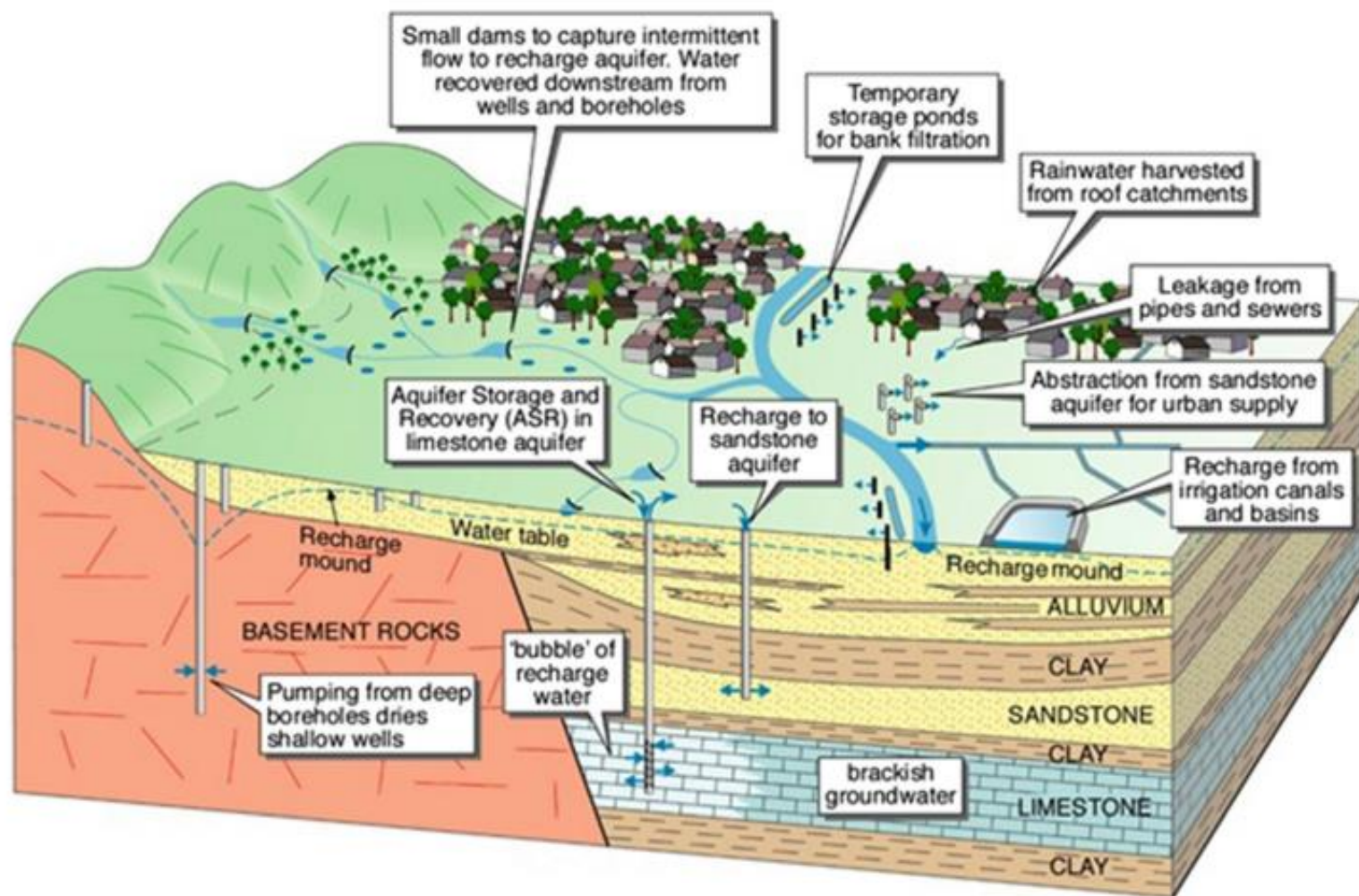
- Australia
- China
- Finland
- France
- India (5 states only)
- Israel
- Italy
- Jordan
- Netherlands
- Qatar
- South East Asia
- Spain
- Southern Africa
- UK
- USA

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
Mm³. 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:

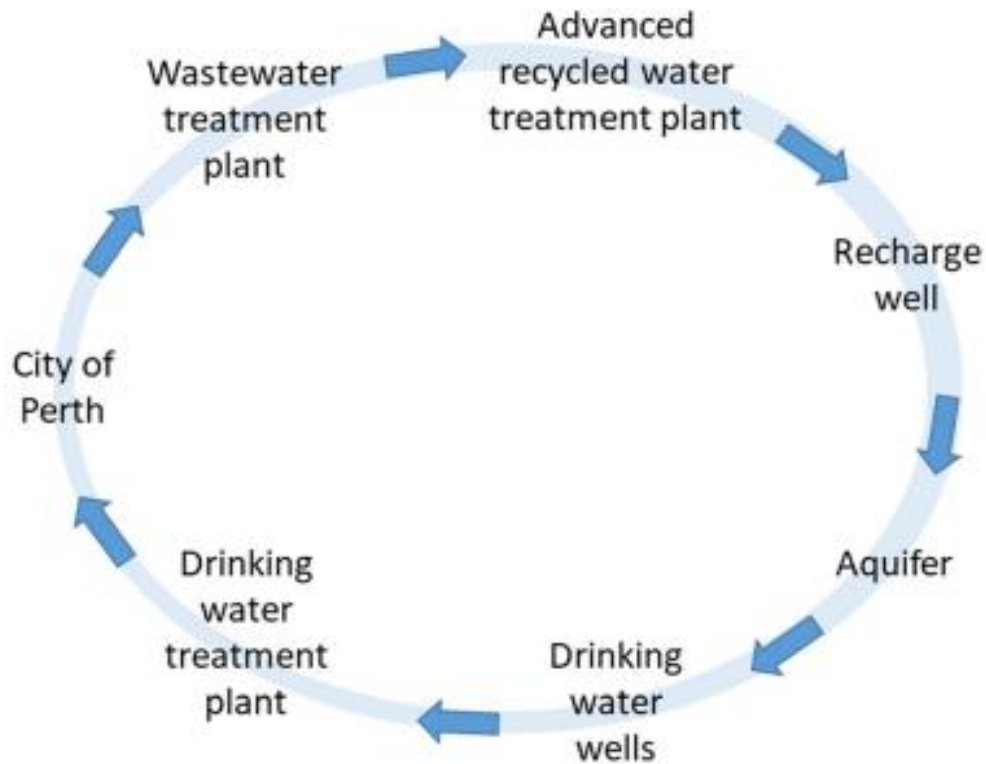
Bacini di infiltrazione



San Luis Rio Colorado , Mexico, laguna di ossidazione. Infiltrazione intermittente 8,2 Mm³/year di acqua trattata (SAT). Funziona da più di 10 anni.

MAR tecniche:

Pozzi di Ricarica



Perth Groundwater Replenishment Project. Volume di ricarica 14 Mm³/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 ^a	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	–

^a 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	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	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

MAR Scheme Type/ Water Source	Capital cost/ m³ recharged	O&M cost/ m³ recharged	Levelised cost (US\$/m³ recharged)
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 ?

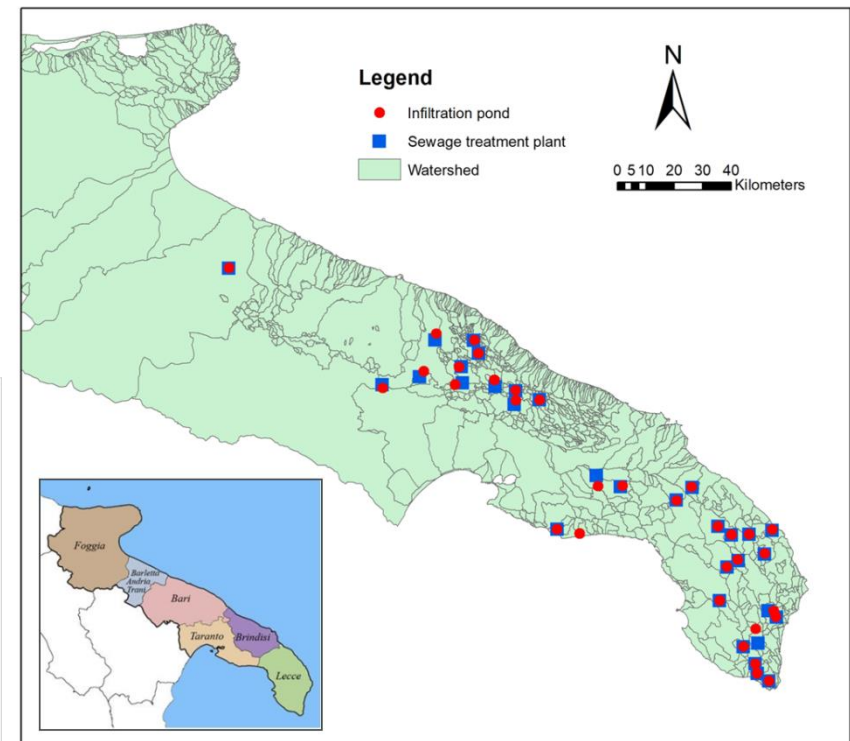
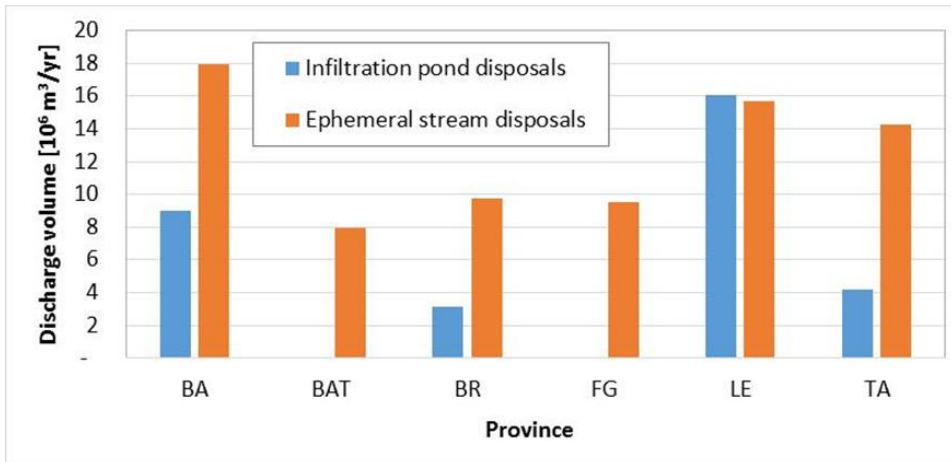
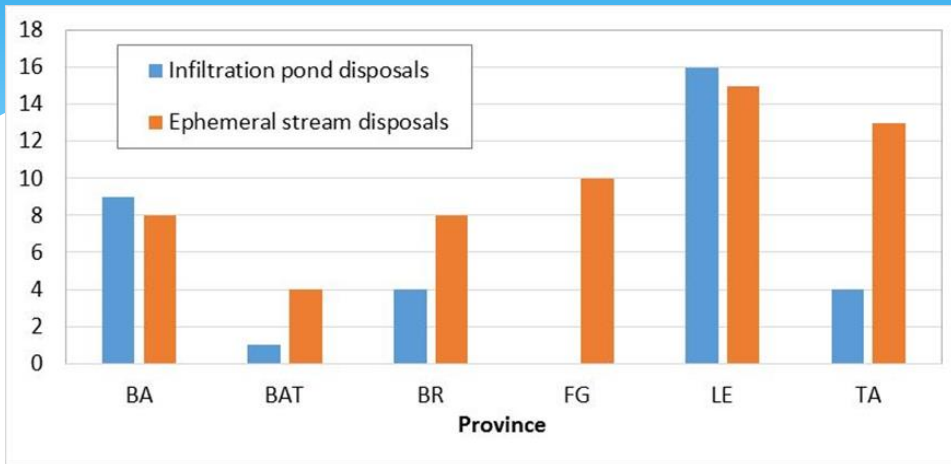
Atlante dei bacini di infiltrazione per lo smaltimento delle acque reflue depurate:

(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 m³/d e un totale di infiltrazione annuo di più di **30Mm³/yr**. Gli effluenti di 60 impianti di trattamento, attualmente scaricano nelle lame e possono far infiltrare una portata media di 4000 m³/d e un volume totale di infiltrazione di più di 85 Mm³/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.

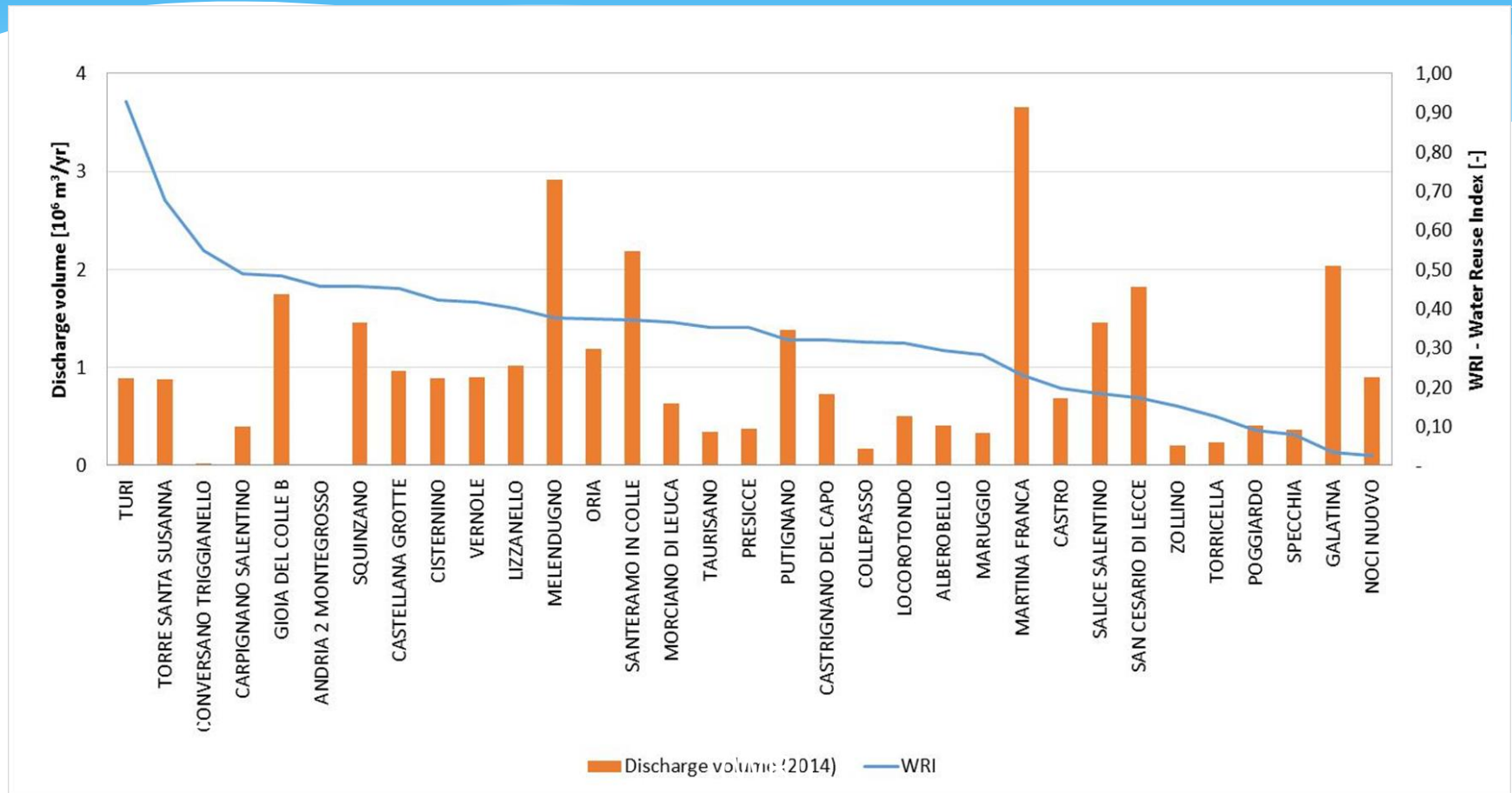
Indicatori prescelti (2)

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

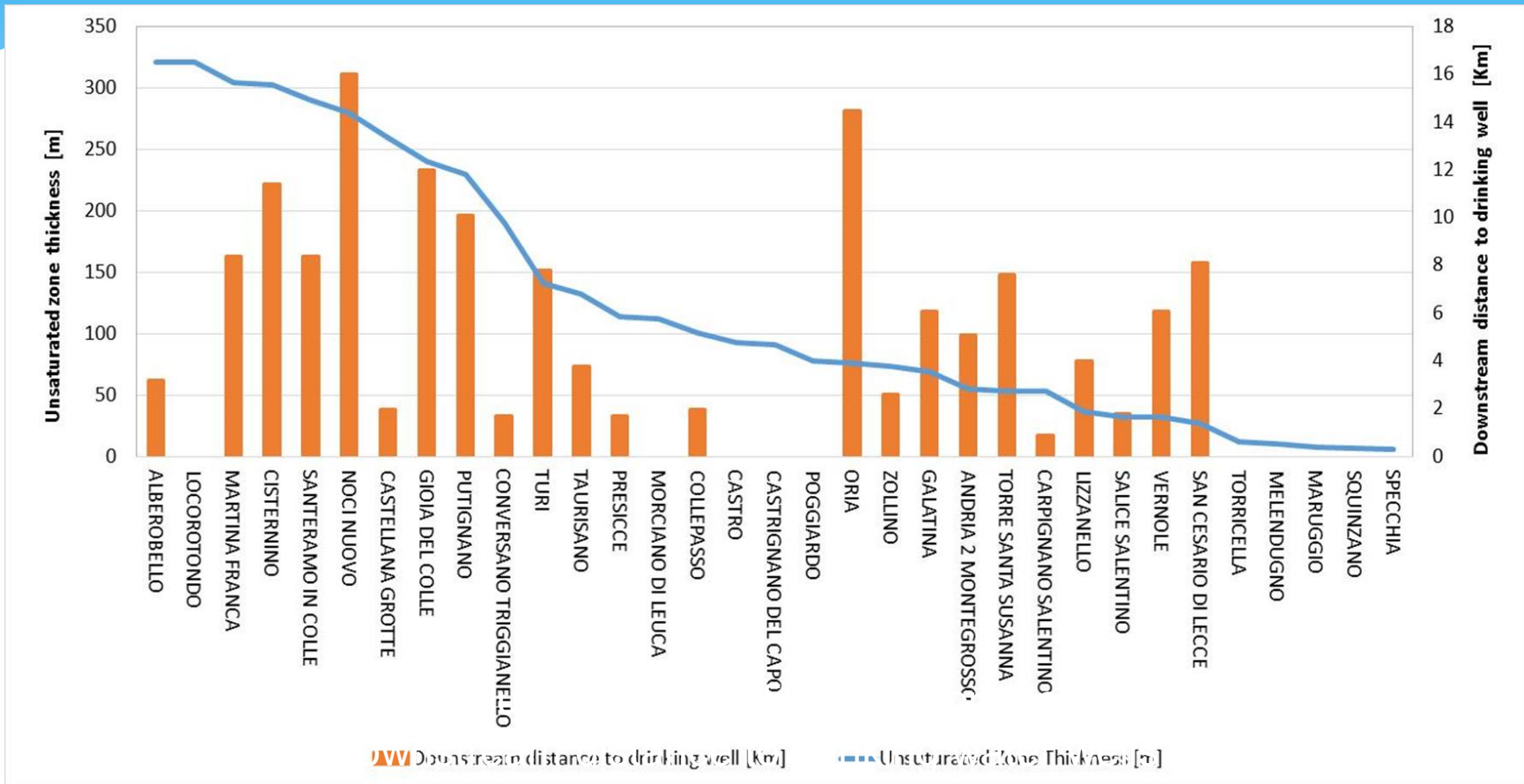
$$PVI [tons/yr/m] = \frac{DE}{Depth_{GW}} V_G = \frac{\sum_{i=1}^n D_i (LV_{std}/LV_i)}{Depth_{GW}} V_G$$

- * **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_{GW}**: Soggiacenza;
- **V_G**: Vulnerabilità intrinseca, funzione delle caratteristiche del sito (gradi di carsismo, permeabilità, forme carsiche);
- **D_i**: Dose dell'i-esimo parametro;
- **(VL_{std}/VL_i)**: fattore di conversione ricavato dal rapporto tra il Valore Limite normativo del COD e il Valore Limite dell'i-esimo parametro.

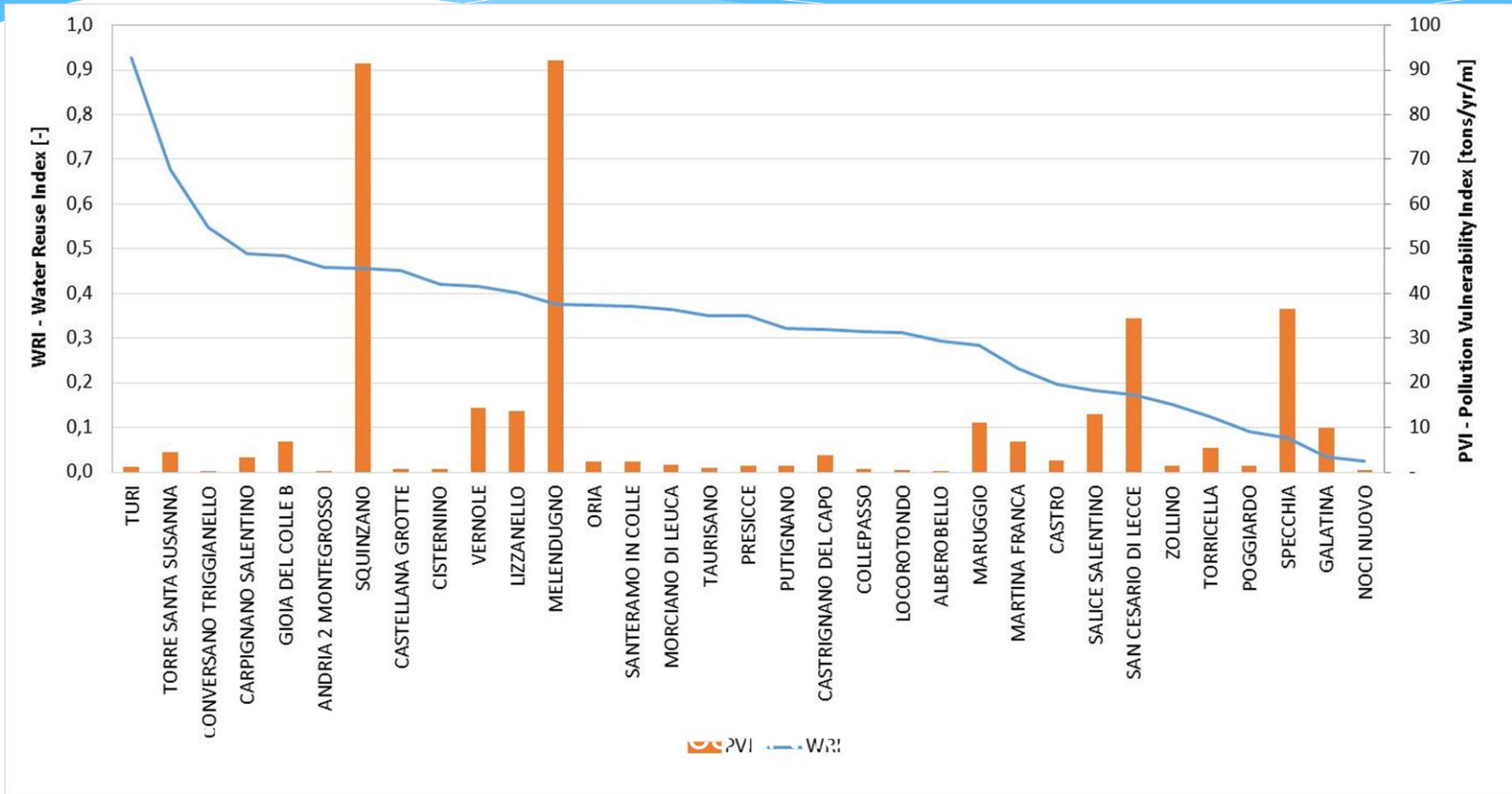
WRI e Volume trattato



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**