

# Impiego di acque reflue per applicazioni bio-energetiche: opportunità e problematiche alla luce della nuova direttiva europea sul riuso

Salvatore Masi

Scuola di Ingegneria Università degli Studi della Basilicata

- La scarsità di risorsa idrica è un problema globale.
- Nelle aree mediterranee, pur in un regime di precipitazioni abbondanti, molte aree sono a rischio desertificazione.



## Decreto-legge del 14/04/2023 n. 39

### **Art. 7 Riutilizzo delle acque reflue depurate ad uso irriguo.**

*In vigore dal 31/12/2023*

*Modificato da: Decreto-legge del 30/12/2023 n. 215 Articolo 12*

1. Al fine di fronteggiare la crisi idrica, garantendone una gestione razionale e sostenibile, il riutilizzo a scopi irrigui in agricoltura delle acque reflue depurate prodotte dagli impianti di depurazione già in esercizio alla data di entrata in vigore del presente decreto, nel rispetto delle prescrizioni minime di cui all'Allegato A al presente decreto, è autorizzato fino al 30 giugno 2024 dalla regione o dalla provincia autonoma territorialmente competente ai sensi del regolamento (UE) 2020/741 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 maggio 2020.



*Figura 15 - Distribuzione delle dighe in Italia*

# Perché utilizzare le acque reflue?

Le acque reflue urbane:

- Sono una risorsa non convenzionale e con scarsa competizione per il suo utilizzo
- È spesso la risorsa più disponibile con portate costanti nell'arco dell'anno
- Il loro riuso contribuisce a ridurre l'immissione di inquinanti nei corpi idrici e prevede un positivo bilancio emissivo in termini di CO<sub>2</sub> e somma di gas-serra
- Possono alimentare filiere bio-energetiche a scala locale e contribuire al raggiungimento dell'autosufficienza energetica

## Il riuso delle acque reflue è spesso incontrollato





## RISCHI IGIENICO SANITARI

*I rischi associati all'impiego delle acque reflue in agricoltura, da sole o miscelate, sono relativamente bassi*

*Se condotto in modo controllato l'utilizzo di acque reflue trattate in agricoltura risulta del tutto sicuro sotto l'aspetto igienico-sanitario*

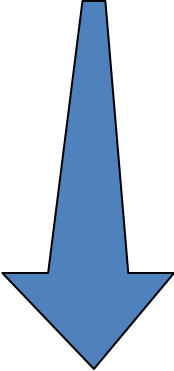
**In ogni caso il livello di rischio dipende dai seguenti aspetti:**

- **Tipologia dei trattamenti di affinamento**
- **Colture irrigate**
- **Tecniche di irrigazione**

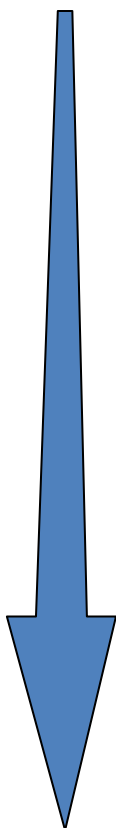


I rischi sanitari nell'uso delle acque reflue sono riconducibili a:

- Rischi di trasmissione di agenti patogeni
- Accumulo di elementi tossici all'interno dei prodotti coltivati

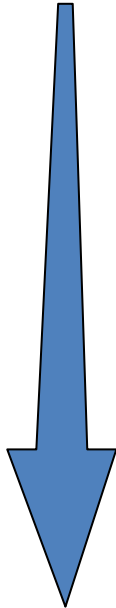
Agente patogeno	Livello di rischio
Virus	
Batteri	
Protozoi	
Nematodi	

# IL RISCHIO ASSOCIATO ALLE DIVERSE COLTURE



<b>Livello di rischio</b>	<b>COLTURA</b>
Alto	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Verdure da consumarsi crude</li><li>▪ Frutta cresciuta a livello del suolo</li><li>▪ Giardini e parchi pubblici</li></ul>
Medio	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Ortaggi da consumarsi cotti</li><li>▪ Frutta da albero raccolta nel periodo irriguo</li></ul>
Basso	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Foraggio consumato dopo essiccamento</li><li>▪ Coltura da semi (mais, soia)</li></ul>
Bassissimo	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Colture da fibre (cotone, canapa)</li><li>▪ Colture energetiche</li></ul>

## IL RISCHIO ASSOCIATO ALLE DIVERSE PRATICHE IRRIGUE



<b>Livello di rischio</b>	<b>METODO IRRIGUO</b>
Alto	▪ ASPERSIONE
Medio	▪ SOMMERSIONE ED INFILTRAZIONE
Basso	▪ IRRIGAZIONE LOCALIZZATA A GOCCIA
Bassissimo	▪ SUB-IRRIGAZIONE

In sintesi

La combinazione meno rischiose, anche utilizzando acque reflue di **qualità**  
**difforme da quanto stabilito dalla normativa** sul riuso delle acque reflue  
trattate è:

**Sub.Irrigazione di colture destinate a filiere bionergetiche**

## LIMITI NORMATIVI PER IL RIUTILIZZO IN AGRICOLTURA

### VALORI LIMITE DELLE ACQUE REFLUE ALL'USCITA DELL'IMPIANTO DI RECUPERO

	<i>Parametro</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valore limite</i>
Parametri chimico fisici	pH		6-9,5
	SAR		10
	Materiali grossolani		Assenti
	Solidi sospesi totali	mg/L	10
	BOD5	mg O2/L	20
	COD	mg O2/L	100
	Fosforo totale	mg P/L	2
	Azoto totale	mg N/L	15
	Azono ammoniacale	mg NH4/L	2
	Conducibilità elettrica	ìS/cm	3000

6. Per il parametro *Escherichia coli* il valore limite indicato in tabella (10 UFC/100 ml) è da riferirsi all'80% dei campioni, con un valore massimo di 100 UFC/100 ml. Il riutilizzo deve comunque essere immediatamente sospeso ove nel corso dei controlli il valore puntuale del parametro in questione risulti superiore a 100 UFC/100 ml.

## LIMITI NORMATIVI PER LA BALNEAZIONE

<b>PARAMETRI</b> unità di misura <sup>5</sup>	<b>ACQUE</b> (tipologia)	<b>VALORE LIMITE</b> (D.M. 30 marzo 2010)
Enterococchi Intestinali (EI) n°/100 ml	Costiere/Transizione	200
	Interne	500
<i>Escherichia coli</i> (EC) n°/100 ml	Costiere/Transizione	500
	Interne	1000

Valori limite per la valutazione di idoneità (balneabilità) durante la stagione balneare (allegato A D.M. 30 marzo 2010)

**REGOLAMENTO (UE) 2020/741 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO**

**del 25 maggio 2020**

**recante prescrizioni minime per il riutilizzo dell'acqua**

**(Testo rilevante ai fini del SEE)**

**Tabella 1 — Classi di qualità delle acque affinate e tecniche di irrigazione e utilizzi agricoli consentiti**

Classe minima di qualità delle acque affinate	Categoria di coltura (*)	Tecniche di irrigazione
A	Tutte le colture alimentari da consumare crude la cui parte commestibile è a diretto contatto con le acque affinate e le piante da radice da consumare crude	Tutte
B	Colture alimentari da consumare crude la cui parte commestibile è prodotta al di sopra del livello del terreno e non è a diretto contatto con le acque affinate, colture alimentari trasformate e colture non alimentari, comprese le colture utilizzate per l'alimentazione di animali da latte o da carne	Tutte
C	Colture alimentari da consumare crude la cui parte commestibile è prodotta al di sopra del livello del terreno e non è a diretto contatto con le acque affinate, colture alimentari trasformate e colture non alimentari, comprese le colture utilizzate per l'alimentazione di animali da latte o da carne	Irrigazione a goccia (**) o altra tecnica di irrigazione che eviti il contatto diretto con la parte commestibile della coltura
D	Colture industriali, da energia e da sementi	Tutte le tecniche di irrigazione (***)

(\*) Se lo stesso tipo di coltura irrigata rientra in più categorie della tabella 1, si applicano le prescrizioni della categoria più rigorosa.

(\*\*) L'irrigazione a goccia (o irrigazione localizzata) è un sistema di microirrigazione capace di somministrare acqua alle piante sotto forma di gocce o di sottili flussi d'acqua. L'acqua viene erogata a bassissima portata (2-20 litri/ora) sul terreno o direttamente al di sotto della sua superficie da un sistema di tubi di plastica di piccolo diametro dotati di ugelli denominati «emettitori» o «gocciolatori».

(\*\*\*) Nel caso di tecniche di irrigazione che imitano la pioggia, occorre prestare particolare attenzione alla protezione della salute dei lavoratori o degli astanti. A tal fine si devono porre in essere le adeguate misure preventive.

**Tabella 2 — Prescrizioni di qualità delle acque affinate a fini irrigui in agricoltura**

Classe di qualità delle acque affinate	Obiettivo tecnologico indicativo	Prescrizioni di qualità				Altro
		<i>E. coli</i> (numero/100 ml)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	TSS (mg/l)	Torbidità (NTU)	
A	Trattamento secondario, filtrazione e disinfezione	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	<i>Legionella</i> spp.: < 1 000 ufc/l se vi è rischio di diffusione per via aerea Nematodi intestinali (uova di elminti): ≤ 1 uovo/l per irrigazione di pascoli o colture da foraggio
B	Trattamento secondario e disinfezione	≤ 100	In conformità della direttiva 91/271/CEE (allegato I, tabella 1)	In conformità della direttiva 91/271/CEE (allegato I, tabella 1)	–	
C	Trattamento secondario e disinfezione	≤ 1 000			–	
D	Trattamento secondario e disinfezione	≤ 10 000			–	



# Utilizzo di acque reflue ai fini energetici

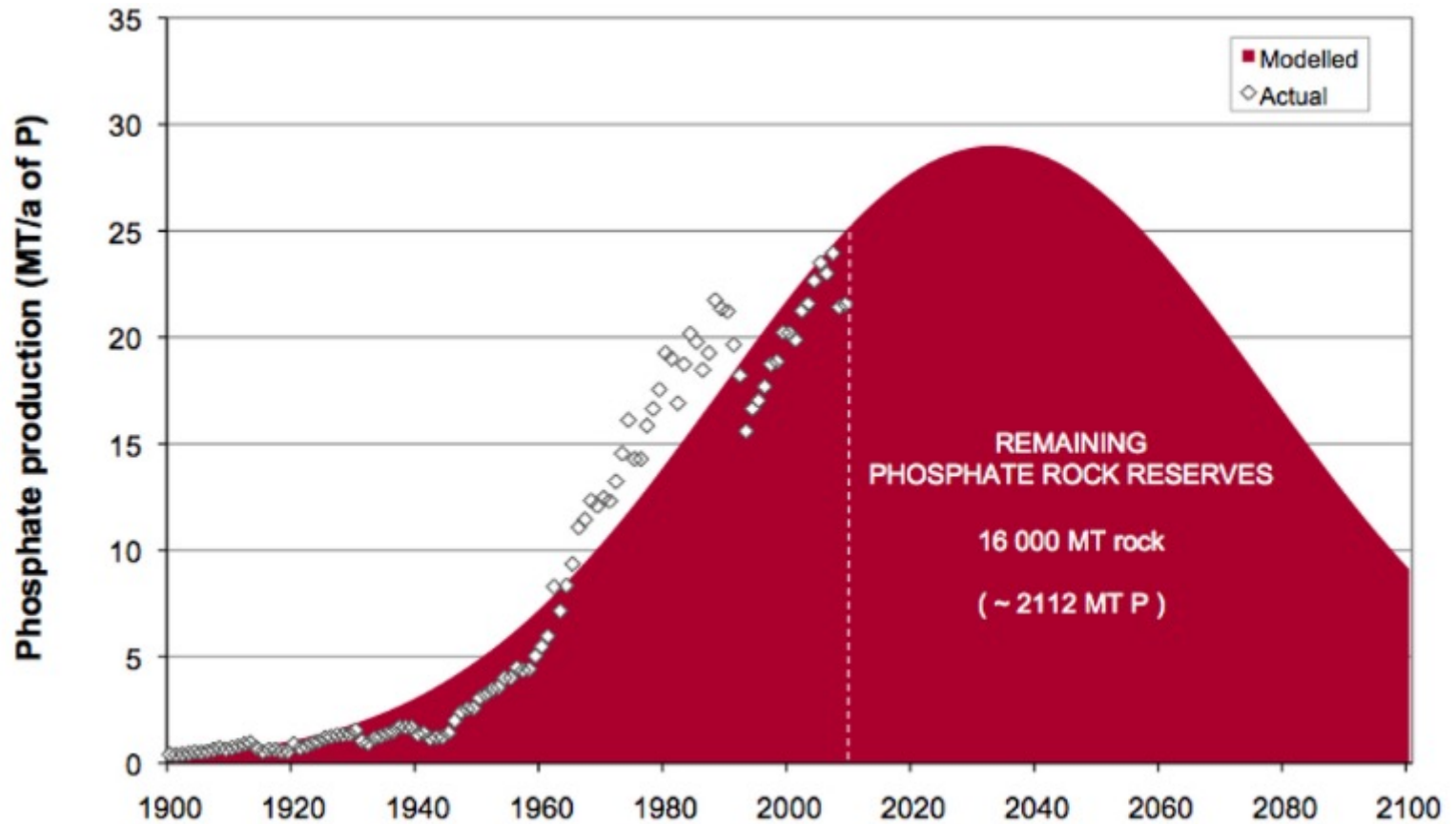
- Si recupera risorsa idrica in misura di circa 80 m<sup>3</sup>/anno per abitante che in larga parte viene dispersa in mare o nei tratti terminali dei fiumi

In Italia i consumi complessivi di acqua sono stimabili in circa 50 miliardi di m<sup>3</sup>/anno così distribuiti

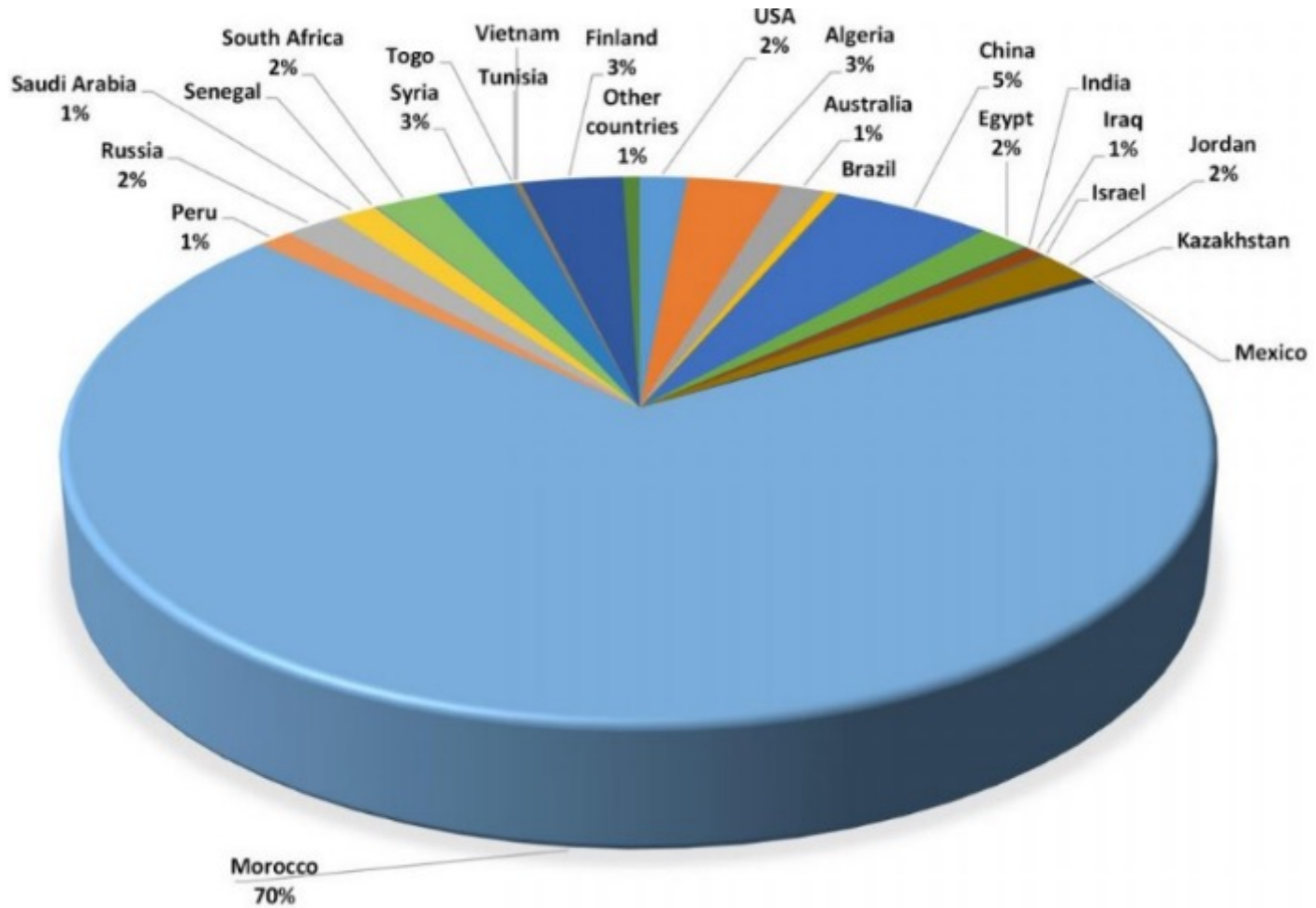
- ▶ 60% pari a 30 MD m<sup>3</sup>/anno nel settore agricolo;
- ▶ 24% pari a 12 MD m<sup>3</sup>/anno nel settore industriale;
- ▶ 16% pari a 8 MD m<sup>3</sup>/anno nel settore civile.

- Oltre il 50% delle acque reflue prodotte in Italia è scaricata direttamente a mare
- Si recuperano sostanze agronomicamente utili quali azoto fosforo e carbonio organico

# IL PROBLEMA DEL FOSFORO: PICCO DI UTILIZZO



# IL PROBLEMA DEL FOSFORO: RISERVE



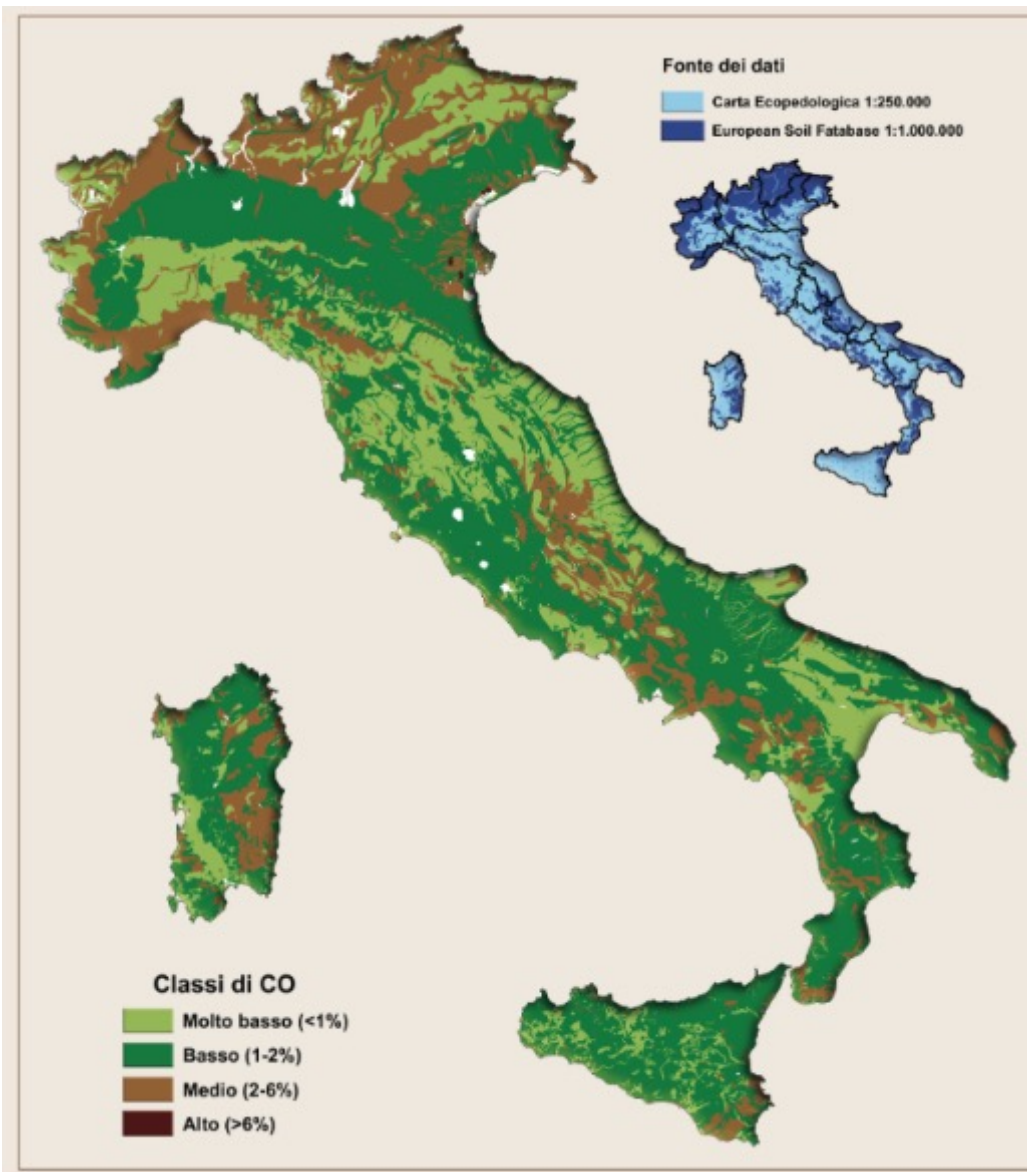




# IL PROBLEMA DELLA SOSTANZA ORGANICA NEL SUOLO



*Una scarsa dotazione di sostanza organica riduce la fertilità fisica, chimica e biologica impedendo che il suolo svolga correttamente le sue funzioni*



**Fig. 3.5** - Stima del carbonio organico (CO) presente nei suoli italiani.

Per trasformare il contenuto di CO misurato nel corrispondente contenuto di SO si ricorre all'equazione:

$$SO = CO \times 1,724.$$

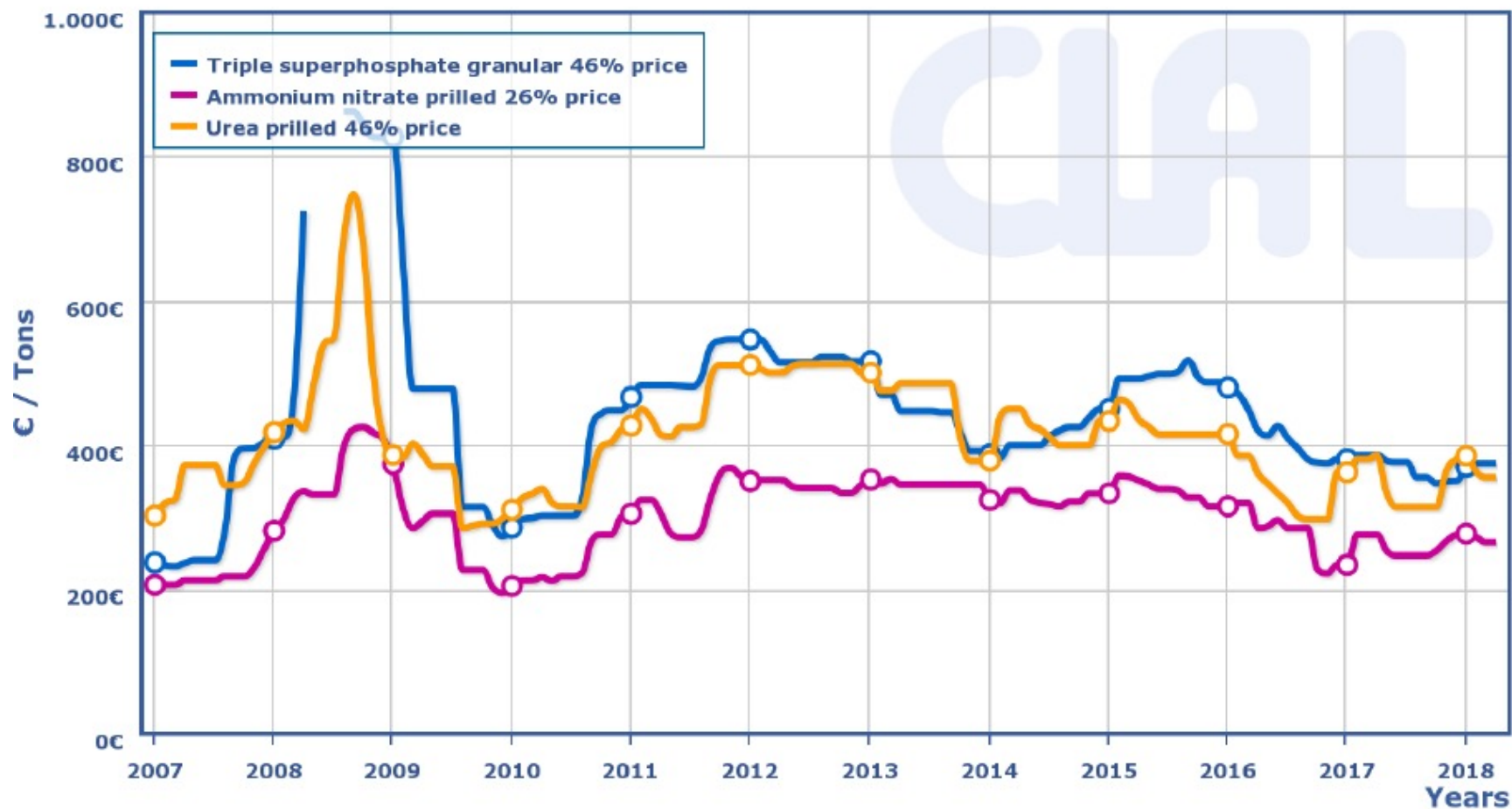
Sulla base della classificazione adottata la situazione non è rassicurante e allineata alle stime europee: circa l'80% dei suoli italiani ha un tenore di CO minore del 2%, di cui una grossa percentuale ha valori di CO minore dell'1%. Tutto ciò si traduce in una grande percentuale di suoli con valori di SO minori o poco più alti del 2%.

La stima è basata sulle analisi effettuate per la realizzazione della Carta Ecopedologica d'Italia integrate con i dati dell'European Soil Database. Una elaborazione di maggior dettaglio, derivante dall'armonizzazione delle informazioni disponibili presso gli enti che svolgono la funzione di Servizio Pedologico Regionale, è in via di realizzazione nell'ambito del Progetto SIAS (Sviluppo di Indicatori Ambientali sul Suolo), coordinato da APAT.

# UN ASPETTO NON TRASCURABILE: IL VALORE DEI FERTILIZZANTI

## Italy, Modena – Comparative historical overview for Fertilizers price

Modena Chamber of Commerce





# Pilot plant for ferti-irrigation application



# Experimental field for irrigation of olive trees (before irrigation)



# Experimental field for irrigation of olive trees (after fertigation)



**Irrigated**

**Not irrigated**



	<b>Irrigated</b>	<b>Not irrigated</b>	<b>Irrigated</b>	<b>Not irrigated</b>
	<i>Kg trees<sup>-1</sup></i>		<i>t ha<sup>-1</sup></i>	
<b>average</b>	<b>62.4</b>	<b>27.0</b>	<b>9.7</b>	<b>4.2</b>













Pisticci

# Case study



Desalination 187 (2006) 323–334

DESALINATION

www.elsevier.com/locate/desal



Agriculture, Ecosystems and Environment 129 (2009) 43–51

Contents lists available at ScienceDirect

Agriculture, Ecosystems and Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agrue



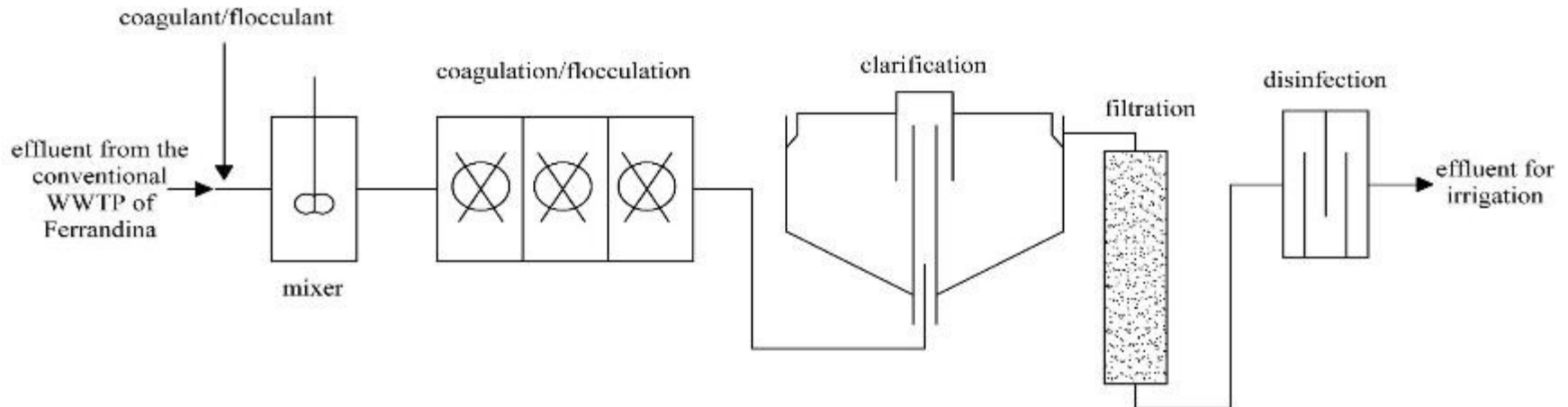
## Agricultural wastewater reuse in southern Italy

A. Lopez<sup>a\*</sup>, A. Pollice<sup>a</sup>, A. Lonigro<sup>b</sup>, S. Masi<sup>c</sup>, A.M. Palese<sup>d</sup>, G.L. Cirelli<sup>c</sup>,  
A. Toscano<sup>e</sup>, R. Passino<sup>g</sup>

Irrigation of olive groves in Southern Italy with treated municipal wastewater:  
Effects on microbiological quality of soil and fruits

A.M. Palese<sup>a\*</sup>, V. Pasquale<sup>b</sup>, G. Celano<sup>a</sup>, G. Figliuolo<sup>c</sup>, S. Masi<sup>d</sup>, C. Xiloyannis<sup>a</sup>

## A simplified treatment scheme for wastewater reuse in agriculture



Developed by **School of Engineering** and **School of Agricultural and Forestry Sciences**  
**University of Basilicata**

**50%** removal of organic matter and nutrients, maintaining the necessary concentrations  
for crop irrigation with wastewater

# Case study

1M m<sup>3</sup>/y - INFLUENT FLOW

11500 EI - POPULATION SERVED

250 l/ab d - WATER SUPPLY

Average per capita daily loads suggested by the scientific literature

Table 1. Influent characteristics

Parameter	Unit	Value	Description
BOD <sub>tot</sub>	t <sub>BOD</sub> /y	271	<i>BOD in the influent</i>
N <sub>tot</sub>	t <sub>N</sub> /y	50	<i>N in in the influent</i>
P <sub>tot</sub>	t <sub>P</sub> /y	13	<i>P in the influent</i>

Table 2. Recovered loads

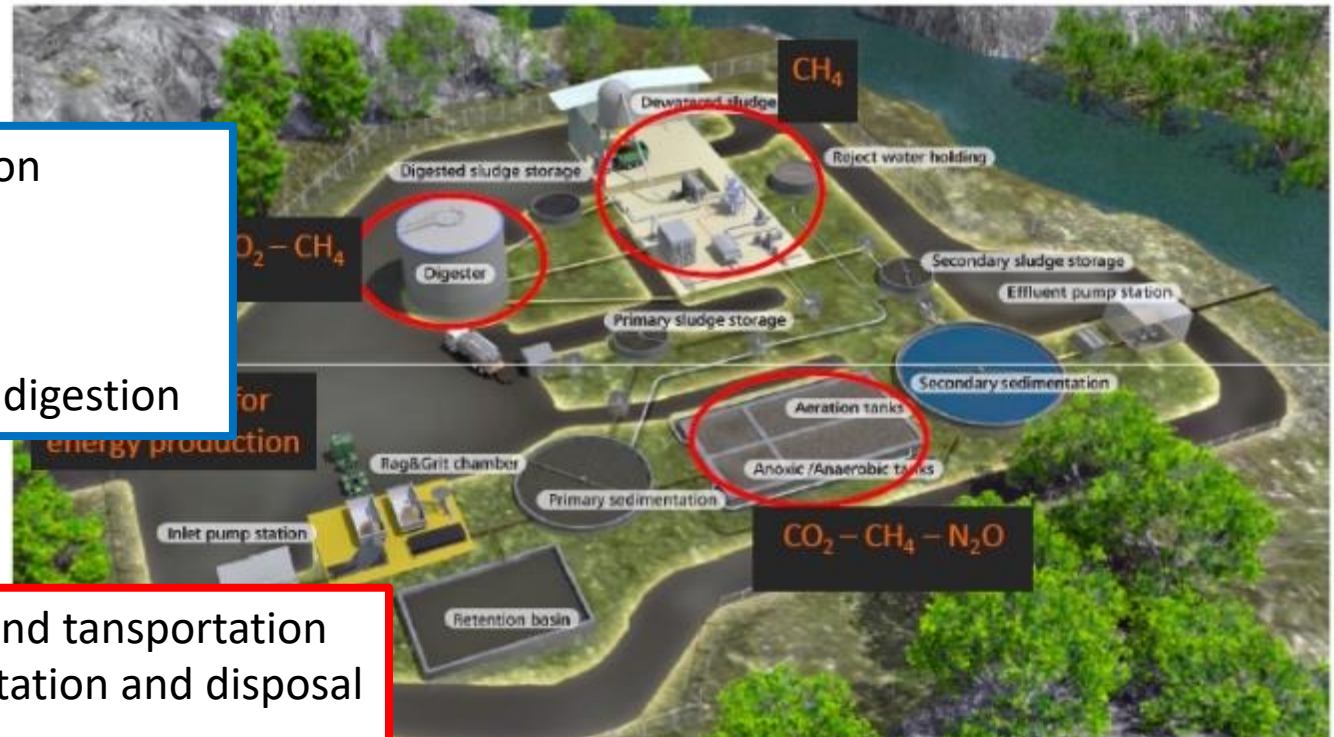
Parameter	Unit	Value	Description	Recovery percentage
BOD <sub>rec</sub>	t <sub>BOD</sub> /y	135	<i>Recovered BOD</i>	50%
N <sub>rec</sub>	t <sub>N</sub> /y	25	<i>Recovered N</i>	50%
P <sub>rec</sub>	t <sub>P</sub> /y	8.75	<i>Recovered P</i>	70%

Simplified treatment scheme

# GREENHOUSE GAS EMISSIONS

## DIRECT EMISSIONS

- ❖ Organic carbon oxidation
- ❖ Nitrification
- ❖ Denitrification
- ❖ Nitrifier denitrification
- ❖ Aerobic and anaerobic digestion



## INDIRECT EMISSIONS

- ❖ Chemicals production and transportation
- ❖ Excess sludge transportation and disposal
- ❖ Energy consumption

*Mannina et al. 2016 ; Sweetapple et al. 2013; Bani Shahabadi et al. 2009*



Nitrous oxide



Carbon dioxide



Methane

# FIRST RESULTS



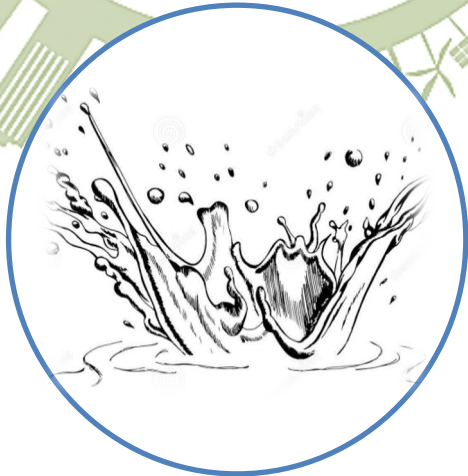
**Emission balance**



**ENVIRONMENTAL  
BALANCE**



**Economic balance**



**Water balance**



$\text{CO}_{2e,\text{saved}} - \text{dir}$	457 tCO <sub>2,eq</sub> /y	Saved <b>direct</b> CO <sub>2</sub> equivalent emission from simplified scheme
$\text{CO}_{2e,\text{saved}} - \text{indir}$	49 tCO <sub>2,eq</sub> /y	Saved <b>indirect</b> CO <sub>2</sub> equivalent emission from simplified scheme
$\text{CO}_{2e,\text{saved}} - \text{fug}$	550 tCO <sub>2,eq</sub> /y	Saved <b>fugitive</b> CO <sub>2</sub> equivalent emission from simplified scheme

TOTALLY SAVED  
**1057 tCO<sub>2,eq</sub>/y**

Emissions from electricity consumption of 1600 Italian households per year



Economic balance

Costs saved from **energy save** 15.000 €/y

Costs saved from **sludge recovery** 18.000 €/y

Costs saved from **nitrogen recovery** 19.000 €/y

Costs saved from **phosphorus recovery** 8.000€/y

Sludge landfilling  
**200 €/t**

Price of granular mineral  
superphosphate (21%)  
**200 €/t**

**Pure P: 952 €/t**

Price of granular ammonium  
sulphate or ammonium nitrate  
(27%)  
**210 €/t**

**Pure N: 778 €/t**

Price of energy  
**200 €/MWh**

*TOTALLY SAVED*

**60.000 €/y**

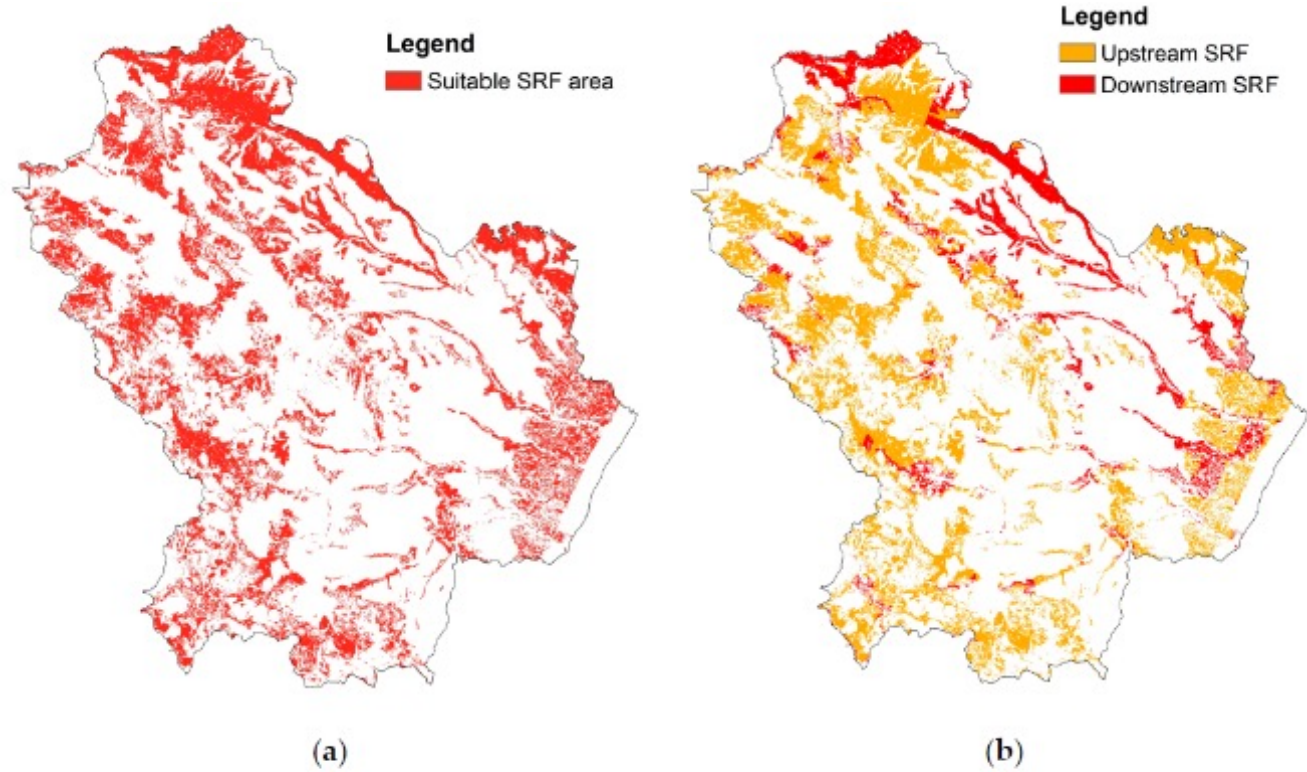


Figure 2. (a) Land suitability map for poplar; (b) elevation distribution of SRF areas compared to elevation of each WWTP

biomass  
productivity factor

$$2.5 \frac{\text{kg}_{\text{SS}}}{\text{m}^3}$$

$$Q = 1\text{M m}^3/\text{y}$$

biomass production

$$2.500 \frac{\text{t}_{\text{SS}}}{\text{y}}$$



Le valutazioni effettuate hanno consentito di definire un fattore di produttività della biomassa dell'ordine di **0,0025 tSS/m<sup>3</sup>**

Nel caso di studio quindi l'impiego di 1Mm<sup>3</sup> di acque porta alla valutazione di una produzione complessiva annua di **2.500 tSS/y**

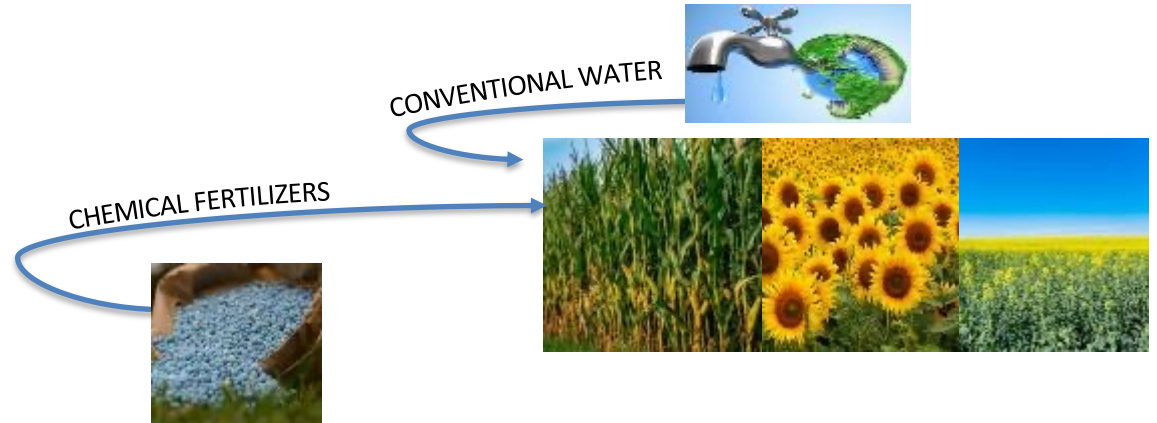
Al valore corrente di ritiro presso gli impianti dedicati superiore a 70 €/ton, assicura un ritorno economico di **175.000€/anno.**

La produzione stimata per la **regione Basilicata** è pari a **100.000 ton/y** di biomassa secca

La produzione stimata per **l'intero territorio nazionale** è pari a **10.000.000 ton/y** di biomassa secca

# CONCLUSIONI

## ECONOMIA LINEARE



## ECONOMIA CIRCOLARE

