

**Il Cloud Computing a supporto del riutilizzo irriguo delle acque reflue ed  
agro-industriali per la gestione sostenibile delle risorse irrigue**

*Francesca Gulletta - Vincenzo Lanave*

**INTESIS Srl - Via Don Guanella 15/G - 70124 – BARI**

**Tel +39.080.5026536 - Fax +39.080.5648414**

## **1. Il contesto: progetto PON 01\_01480\_11 - In.Te.R.R.A**

Il case study, presentato al Forum Telecontrollo 2013 di Bologna all'inizio del suo percorso triennale di supporto tecnologico al progetto di ricerca In.Te.R.R.A (PON 01\_01480\_11), ha completato il suo ciclo di sperimentazione applicativa e sviluppo generando un'innovativa applicazione di Cloud Computing al servizio di un tema di grande impatto socio-politico-economico-culturale quale è la pratica del riutilizzo irriguo per la gestione ottimizzata e sostenibile delle risorse idriche.

L'importante evento del Forum Telecontrollo 2015 è pertanto l'occasione non solo di rappresentare un caso tecnologico di successo ma anche di illustrare gli importanti risultati ottenuti in termini di obiettivi finali del PON (rappresentati nel portale [www.pon-interra.it](http://www.pon-interra.it)), contribuendo, tanto più nel contesto di un evento mondiale qual è EXPO 2015, alla crescita culturale di cui la pratica del riuso delle acque reflue avrebbe tanto bisogno in Italia ed in particolare nelle regioni caratterizzate da scarsità di risorse idriche, per decollare e contribuire alla gestione sostenibile del ciclo di vita dell'acqua.

La scarsità d'acqua è un problema riconosciuto in tutto il mondo, in particolare nel bacino del Mediterraneo in cui diversi Paesi presentano una disponibilità idrica complessiva davvero bassa di 500 m<sup>3</sup> per abitante all'anno, che in base all'indice di stress idrico (FalkenMark et al., 1989) indica scarsità assoluta.

Le risorse di acqua dolce disponibili sono insufficienti a soddisfare i crescenti bisogni della popolazione mondiale pertanto risulta indispensabile ricorrere a risorse idriche non convenzionali, quali le acque reflue urbane depurate che possono essere utilizzate per l'agricoltura e l'industria con l'intento di preservare l'acqua di buona qualità ai fini potabili.

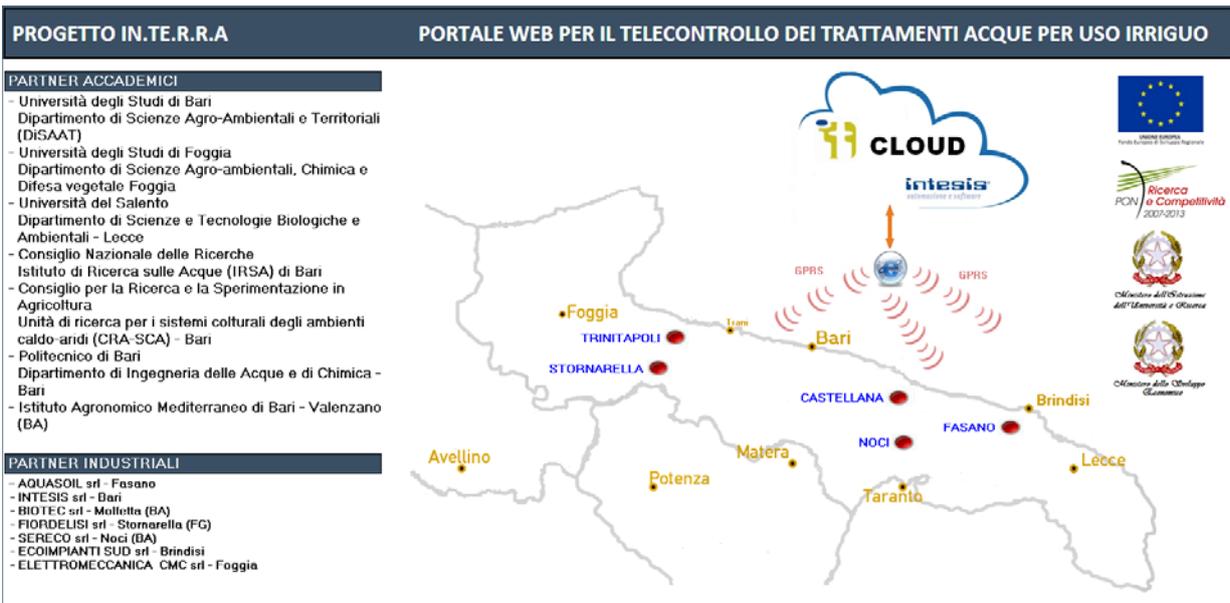
A causa della natura di questa acqua, ricca di minerali, sostanze organiche ed inorganiche oltre che di agenti patogeni, il suo riutilizzo deve essere gestito e monitorato attentamente e continuativamente, per evitare rischi e minacce per il suolo, la falda, le colture irrigate, gli operatori agricoli e gli utenti finali.

Il progetto nel suo ciclo triennale 2012-2014 ha veicolato una continua ed intensa aggregazione tra strutture universitarie, enti di ricerca ed industrie operanti nel Mezzogiorno, in particolare in Puglia, proponendosi, come obiettivo finale, di sviluppare, sperimentare, definire e proporre prodotti innovativi e sostenibili sia tecnologici che di processo, in particolare dedicati:

- a) all'ottimizzazione ed all'aumento dell'efficienza dei processi di depurazione e di affinamento;
- b) all'acquisizione di test rapidi e a basso costo per la misura anche in campo della ecotossicità di campioni di acqua e suolo;
- c) al monitoraggio in continuo ed all'acquisizione in remoto delle caratteristiche qualitative delle acque reflue;
- d) allo studio degli aspetti sociali, economici ed ambientali legati al riuso;
- e) alla individuazione di linee guida atte a disciplinare l'impiego irriguo di acque reflue con carico microbico diverso in funzione delle colture, della destinazione del prodotto (alimentari e non) e della tecnica agronomica adottata.

La compagine multi-disciplinare costituita dai più importanti enti di ricerca sul tema del riuso irriguo delle acque depurate e da alcune delle più attive realtà imprenditoriali ed industriali, tutte operanti nel territorio pugliese, ha messo in campo le competenze tecnico-scientifiche, le approfondite conoscenze e le pluriennali esperienze nei settori della gestione delle risorse idriche e del riuso, nonché le connaturate capacità ad innovare e ad istituire rapporti di collaborazione con gli enti locali.

Una rappresentazione dei partner e dei siti sperimentali di In.Te.R.R.A è illustrata in Figura 1.



**Figura 1 – Partner e siti sperimentali di In.Te.R.R.A**

## 2. Monitoraggio e controllo della qualità

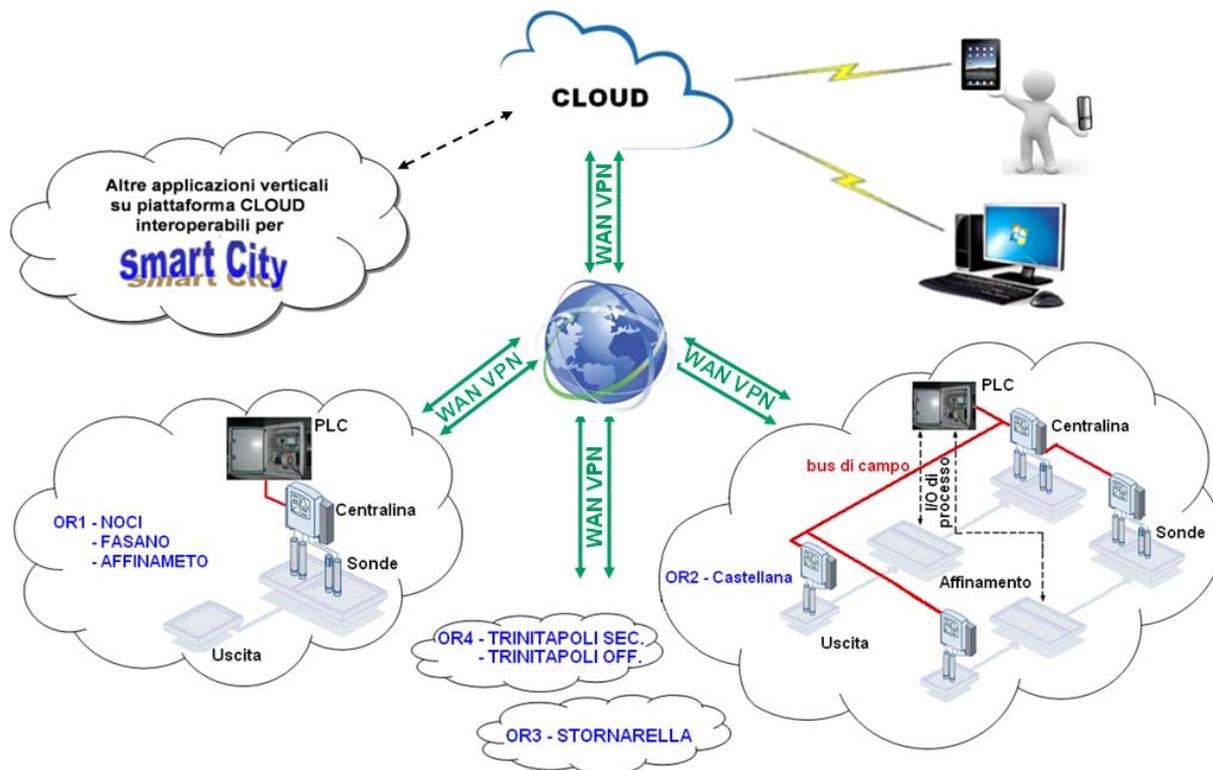
Per supportare le attività di misura e controllo del riuso irriguo con acque reflue depurate eseguite trasversalmente su quasi tutti gli Obiettivi Realizzativi del PON In.Te.R.R.A. è stato progettato e realizzato un innovativo sistema di telecontrollo e telegestione degli impianti oggetto di sperimentazione che, a partire dalla misura dei parametri qualitativi dell'acqua depurata da destinare all'uso irriguo, consente la telegestione delle apparecchiature e degli impianti. Il sistema di telecontrollo si basa su una infrastruttura hardware (server ridondato, storage, gateway VPN, rete) sicura e affidabile, realizzata presso un vero e proprio Data Center, nonché sull'implementazione di diversi applicativi SCADA rispondenti al paradigma del Cloud Computing.

In campo sono state quindi installate le postazioni periferiche dimensionate per l'acquisizione di tutte le segnalazioni analogiche e digitali, nonché infrastrutturate per la telegestione completa dei processi di affinamento e di irrigazione di ogni impianto. Le suddette postazioni sono state collegate con il Data Center Intesis via VPN (Virtual Private Network) con IPSEC tunnel e sono stati implementati applicativi SCADA su piattaforma WEB per l'acquisizione dei dati in tempo reale, la visualizzazione e la memorizzazione dei dati su database, oltre in alcuni casi (impianto MBR Castellana Grotte) applicativi personalizzati di automazione del processo.

L'architettura del sistema dal campo al "cloud" è rappresentata in Figura 2.

L'applicazione SCADA sviluppata su piattaforma WEB e residente sulla macchina Server, consente la consultazione dei dati di impianto da dispositivi fissi (tipicamente Personal Computer) e mobili (Tablet, Smartphone, ecc...), utilizzando un qualsiasi Internet browser.

A livello di campo le misure di pH, Conducibilità Elettrica, Temperatura, Torbidità, Solidi Sospesi e Nitrati contenuti nelle acque reflue, acquisite dalle centraline corredate delle apposite sonde, sono trasmesse via Modbus al PLC (Programmable Logic Controller) che unitamente agli I/O di processo dei sistemi pilota di affinamento, trasmette i dati integrati al Centro di Controllo.



**Figura 2 – Architettura del sistema: dal campo al Cloud**

Presso il Centro di Controllo, le informazioni in tempo reale sono pubblicate in pagine video grafiche come riportato nelle figure allegate, mentre i dati storici sono elaborati per fornire report statistici e grafici con valori medi, deviazione standard, ecc...

In definitiva attraverso la connessione Internet via PC/smartphone/tablet è possibile acquisire e analizzare i dati provenienti da sensori, PLC, attuatori, ecc., gestire il processo di automazione di un impianto, eseguire manutenzione da remoto sulle apparecchiature di campo (Internet of Things)

### **3. L'Innovazione Tecnologica: la piattaforma di Cloud Computing**

Ad oggi le tecnologie del telecontrollo (misurazione, acquisizione e trasmissione dati) hanno raggiunto un livello tale da rendere disponibili sul mercato una varietà di sensori, attuatori, package, singolarmente equipaggiabili attraverso apparati di telecontrollo che consentono di telegestirli attraverso l'utilizzo di diversi vettori di comunicazione (GSM, GPRS, UMTS, Satellite, ecc..).

E' facilmente riscontrabile, in particolare negli impianti depurativi, la presenza in campo ed in uno stesso impianto di uno o più sistemi di telecontrollo, con diverse architetture e sistemi trasmissivi, ciascuno operante per telegestire le segnalazioni di processo piuttosto che gli allarmi di antintrusione, le misure di un comparto biologico piuttosto che un filtro UV o una centrifuga, ed ancora piuttosto che le immagini acquisite da un sistema di videosorveglianza.

Il risultato è quello di disporre di tanti centri di controllo disomogenei tra loro ed ubicati in luoghi fisici diversi anche dalla sede dell'Ente gestore degli impianti e non interconnessi tra loro, che poco contribuisce alla telegestione integrata ed integrale dell'impianto da parte del gestore.

Per superare questo limite, perlopiù determinato dalla carenza di interdisciplinarietà tecnologiche in seno agli enti gestori integrati del ciclo delle acque, con l'obiettivo di soddisfare le esigenze specifiche di tutti gli Obiettivi Realizzativi del PON In.Te.R.R.A. si è proceduto a

prototipare e sviluppare un modello ed un'architettura capace di offrire una soluzione concreta al problema della integrazione dei servizi, per consentire attraverso l'adozione degli standard tecnologici più elevati la telegestione integrale dell'impianto con un unico mezzo trasmissivo, da un'unica sede virtuale (il CLOUD) e con un unico portale web (www.pon-interra.it).

La sperimentazione e l'attuazione delle metodologie ed architetture HW/SW per sistemi di telecontrollo "service oriented", aperti verso altri sistemi enterprise e verso Internet, garantisce la fruibilità del sistema non solo per i soggetti partecipanti al PON ma anche per gli enti pubblici e privati interessati ai risultati prodotti dalla ricerca sul riuso delle acque depurate per scopi irrigui (Public Utility, ARPA, Enti di Ricerca, ecc.. v. Figura 3), con la rigorosa osservanza dei seguenti requisiti:

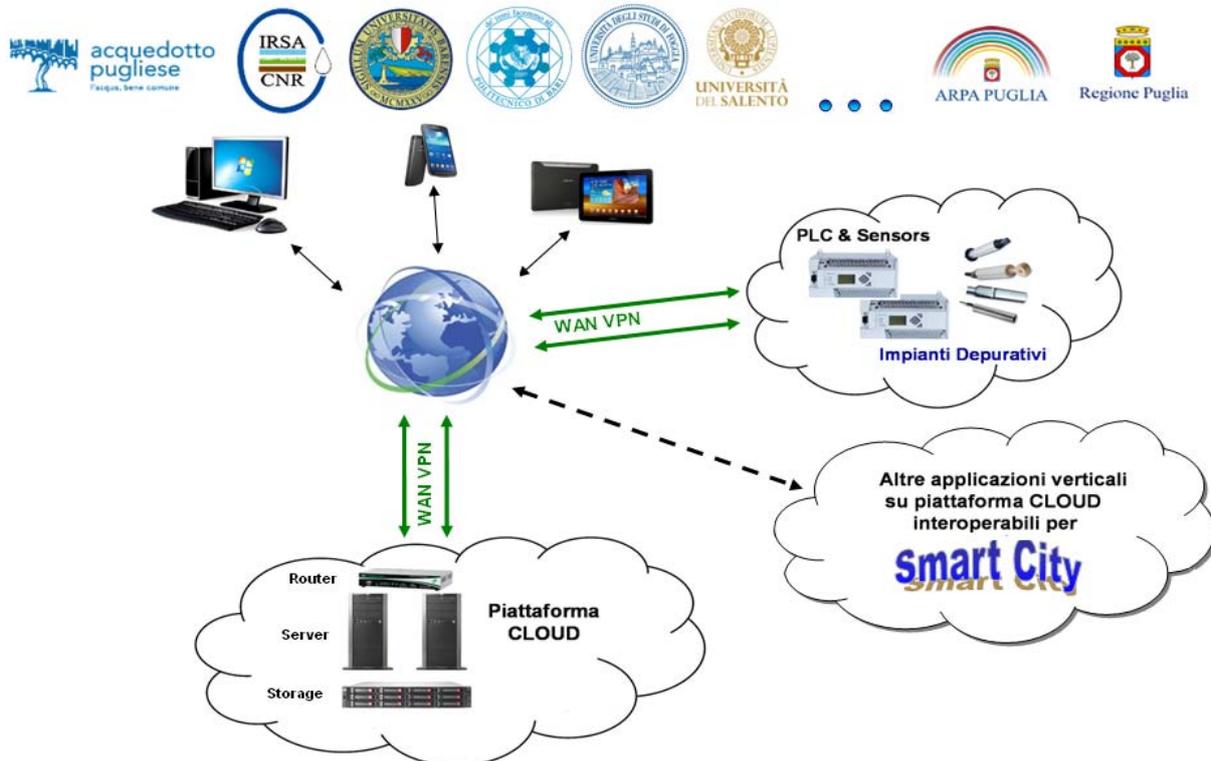


Figura 3 – Il sistema

- ✓ validazione delle misure di processo in campo, attraverso la identificazione delle cause di mancata misurazione ed inaffidabilità del dato acquisito
- ✓ integrazione delle acquisizioni elettrostrumentali ed impiantistiche rivenienti rispettivamente dal processo (uscita vs irrigazione campi sperimentali) e dai package elettromeccanici costituenti gli impianti (MBR, FDG, membrane)
- ✓ security e modalità di trasmissione dati su supporto GPRS
- ✓ virtualizzazione, ridondanza e continuità di funzionamento, per supportare in scalabilità, affidabilità e sicurezza i servizi richiesti dal sistema di telecontrollo in cloud.

La piattaforma di Cloud Computing, implementata per il PON In.Te.R.R.A. e schematizzata in Figura 4, si compone a livello di infrastruttura hardware (IaaS) di apparecchiature (Server, switch, router, storage, gateway VPN) e nodi computazionali virtuali.

Il server ospita le macchine virtuali dove sono installati i servizi di gestione del database SQL e di logging, nonché i servizi di comunicazione verso i device remoti, verso l'applicazione

WEB di telecontrollo o qualsiasi altra applicazione verticale interoperabile su piattaforma Cloud (Paas).

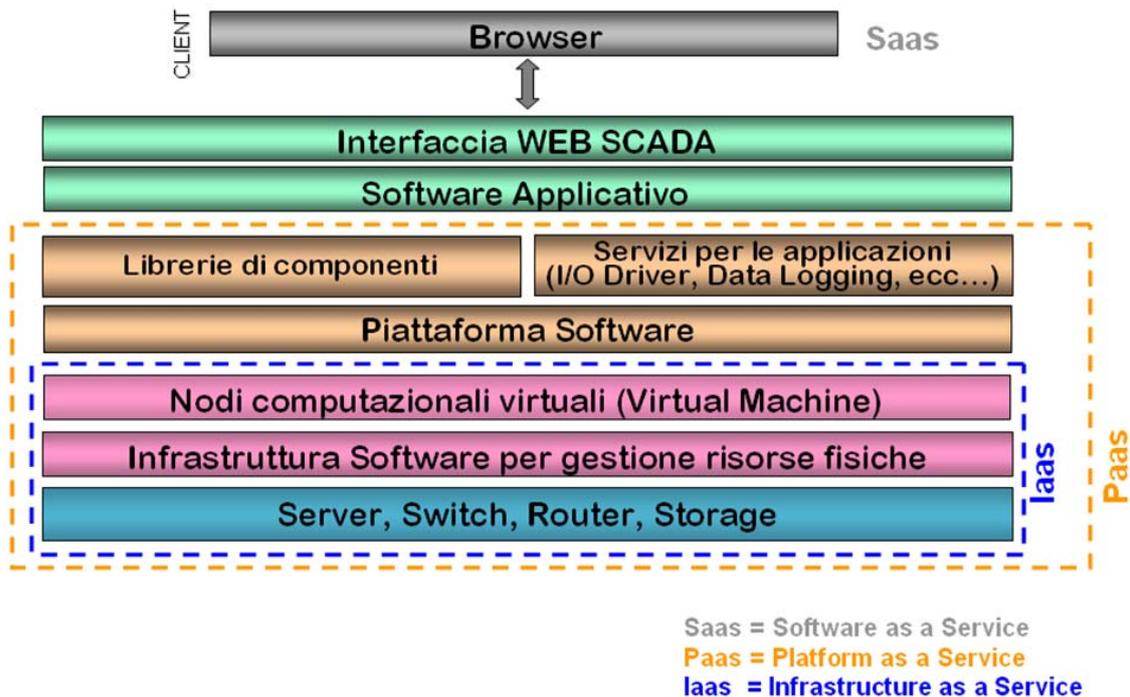


Figura 4 – La piattaforma SW

Il software applicativo di telecontrollo sviluppato in ambiente WEB consente via Internet da qualsiasi postazione mobile e/o fissa la visualizzazione ed il controllo in tempo reale dei dati di campo provenienti da reti wireless di sensori, sonde, attuatori, ecc..., nonché l'analisi dei dati storici.

L'infrastruttura HW/SW suindicata di Cloud Computing è ospitata presso un luogo fisico avente tutte le connotazioni di un IDC (Internet Data Center) per pubblicare i sistemi di monitoraggio e telecontrollo secondo il concetto di "software as service" (SaaS).

La stessa piattaforma software per i sistemi di telecontrollo di reti acqua e ambiente, costituita da software applicativi aperti e interoperabili, può essere adottata per l'implementazione di smart systems su piattaforme cloud, "pubbliche" e "private".

#### 4. La strumentazione di campo

Uno dei momenti topici dell'analisi dei requisiti per la progettazione del sistema di telecontrollo del riutilizzo irriguo delle acque reflue depurate è stata la scelta della strumentazione di misura, che ha visto interagire il tecnologo ICT con i diversi soggetti (Università, CNR, imprese) coinvolti nei vari Obiettivi Realizzativi del PON per esercitare un ruolo di proficua interlocuzione trasversale finalizzato alla pubblicazione del portale WEB alimentato in tempo reale dai dati di campo realmente interessanti per la ricerca e la sperimentazione.

In questo senso una prima scelta condivisa da tutti, per non sovrapporre e/o ridondare le analisi che ciascun soggetto deve necessariamente condurre con i propri mezzi e laboratori sul versante dei campi e delle colture oggetto principe della sperimentazione agraria, è stata quella di orientare l'impiego della strumentazione da acquisire per:

- Monitorare strutturalmente e globalmente le caratteristiche fisico-chimiche generali dell'acqua impiegata per l'irrigazione, e quindi in uscita dai trattamenti sperimentali e non, previsti dal progetto in tempo reale e dalle analisi di laboratorio

- Monitorare il funzionamento degli impianti package di trattamento sperimentali impiegati in alcuni OR specifici (MBR – Castellana Grotte, FDG Castellana Grotte, MBR – Stornarella, e Filtri UV) non solo dal punto di vista delle caratteristiche del processo (Ingresso-Uscita) ma anche dal punto di vista elettromeccanico.

In sintesi la scelta delle grandezze da acquisire in ingresso agli impianti package di trattamento è ricaduta sulle caratteristiche generali (pH, Conducibilità, torbidità).

La scelta delle grandezze da acquisire in uscita dagli impianti di trattamento ovvero per l'irrigazione dei campi e delle colture impiantate di primo acchito, a seguito di incontri tra i vari soggetti interessati per i vari OR, ha escluso la possibilità di monitorare la concentrazione del carico organico generale, che viceversa è oggetto ben più specifico delle analisi eseguite periodicamente dai laboratori specializzati, da parte dei soggetti competenti della compagine.

Per caratterizzare meglio l'analisi della qualità dell'acqua impiegata per l'irrigazione, rispetto agli obiettivi del progetto In.Te.R.R.A. oltre alle caratteristiche generali solitamente acquisite (pH, conducibilità, solidi sospesi), è stata operata la scelta condivisa ed orientata da tutti i soggetti fruitori del portale WEB di monitorare i nitrati piuttosto che i cloruri, per i limiti di budget allocabili all'approvvigionamento della strumentazione di campo.

Considerata la necessità di pubblicare le misurazioni eseguite in campo con la massima continuità ed affidabilità, oltretutto precisione, la scelta della strumentazione non poteva che ricadere sulle piattaforme tecnologiche disponibili sul mercato delle multinazionali della strumentazione di processo

In tale contesto la scelta, adottata oggi prevalentemente dagli Enti Gestori più importanti del Ciclo Idrico integrato, è quella di misurare ogni singolo parametro con una specifica sonda per comporre la matrice da analizzare e gestirla con un'unica centralina multicanale.

Di seguito, in sintesi, le scelte adottate per la sensoristica, con relative caratteristiche tecniche:

#### ***Misura di pH***

L'elettrodo proposto è di tipo differenziale, con l'elettrodo di riferimento (l'elemento più delicato nei pH-metri classici convenzionali a vetro) è isolato dal campione con un doppio ponte salino. La vita dell'elettrodo è così allungata e garantita una misura stabile.

#### ***Misura di conducibilità elettrica***

L'elettrodo è di tipo induttivo adatto per acque reflue molto resistente allo sporco avendo un campo scala molto elevato per sopperire i diversi range di lavoro tipici delle acque di scarico.

#### ***Misura di ossigeno disciolto***

Sfrutta il principio ottico della chemiluminescenza, è esente da manutenzione ed è tarata in fabbrica; un polimero fotosensibile misura la quantità di ossigeno disciolto presente sul CAP terminale della sonda. Questa tecnica ha definitivamente soppiantato la tecnica classica dell'amperometria troppo sensibile allo sporco della membrana attraverso cui permea l'ossigeno disciolto.

#### ***Misura di solidi sospesi***

I solidi sospesi sono misurati con una sonda in acciaio inox autopulente che misura all'infrarosso la torbidità con detector a 90° (conforme a normativa ISO 7027). Un ulteriore detector a 140° rende più precisa la caratterizzazione del fango; attraverso un algoritmo di calcolo la misura viene convertita direttamente di SST. La sonda è tarata in fabbrica ma nulla vieta un'allineamento della misura su matrice reale. E' dotata di un sistema di autopulizia programmabile.

#### ***Misura di Nitrati***

Misura in continuo della concentrazione di azoto nitrico per via ottica direttamente in vasca senza prelievo e trattamento preliminare del campione; funzionamento senza reagenti chimici. Misura ad assorbimento UV a 2 diverse lunghezze d'onda con compensazione

automatica della torbidità e dell'aliquota dell'organico disciolto. E' dotata di un sistema di autopulizia programmabile

La suindicata strumentazione adottata in campo è di tipo digitale; l'elettronica risiede a bordo sonda, in questo caso viene garantita la stabilità del segnale e la possibilità di collegare le sonde al trasmettitore anche a lunghe distanze (fino a 100mt). Il collegamento al trasmettitore è di tipo plug and play con riconoscimento automatico della sonda e di tutte le informazioni di fabbrica (tarature, campi scala, numero di matricola etc). Tali informazioni qualora modificate dall'utente sono richiamabili in qualunque momento.

### **Centralina multicanale**

La centralina (Controller multicanale) consente un collegamento contemporaneo fino ad 8 sonde digitali espandibili a 32 in caso di collegamento con bus di campo proprietario con logica master-slave.

Un ampio display touch-screen funge da configuratore di settaggi, da visore (fino a 6 misure in unica videata) e da datalogger mostrando il trend del parametro misurato. Sono disponibili i più diffusi protocolli di comunicazione, dagli analogici 4-20 mA ai digitali Modbus 485, Profibus DP, TCP/IP su rete Ethernet.

La scelta del protocollo sviluppato per i PLC Master che gestiscono l'acquisizione ed il telecontrollo delle centraline multicanali è ricaduta sul Modbus in quanto ampiamente diffuso tra gli standard di comunicazione e compatibile con tutte le apparecchiature di acquisizione presenti sul mercato multinazionale.

Elenco sensori installati							
OR1		OR2			OR3	OR4	
Noci	Fasano	Castellana MBR	Castellana FDG	Convenzionale	Stornarella	Trinitapoli Sec.	Trinitapoli Aff.
pH e Temperatura OUT	pH e Temperatura IN	pH e Temperatura IN	pH e Temperatura IN	pH e Temperatura OUT			
Conducibilità OUT	Conducibilità IN	Conducibilità IN	Solidi Sospesi IN	Conducibilità OUT	Conducibilità OUT	Conducibilità OUT	Conducibilità OUT
Nitrati OUT	Nitrati IN	Torbidità IN	pH e Temperatura OUT	Nitrati OUT	Nitrati OUT	Nitrati OUT	Nitrati OUT
Solidi Sospesi OUT	Solidi Sospesi IN	Ossigeno Disciolto IN	Conducibilità OUT	Solidi Sospesi OUT	Conducibilità IN	Solidi Sospesi OUT	Solidi Sospesi OUT
		Temperatura OX IN vasca	Nitrati OUT		Solidi sospesi IN		
		pH e Temperatura OUT	Solidi Sospesi OUT				
		Conducibilità OUT					
		Nitrati OUT					
		Solidi Sospesi OUT					

In Figura 5 è illustrata l'architettura della strumentazione di campo implementata nell'impianto del Sito Castellana Grotte oggetto di sperimentazione per 4 tipologie di acque trattate ed affinate per il riuso irriguo:

- filtrazione MBR
- filtrazione FDG
- filtrazione a sabbia
- acqua convenzionale (pozzo)

Si tratta dell'architettura più articolata dell'intero progetto che tra l'altro è stata oggetto di sperimentazione relativamente alla integrazione nel CLOUD della telegestione dell'automazione di processo (filtrazione MBR) attraverso il rewamping HW e SW del PLC di automazione, che ha consentito tra l'altro di contabilizzare anche l'energia elettrica consumata dal processo in termini di kWh per MetriCubo affinato.

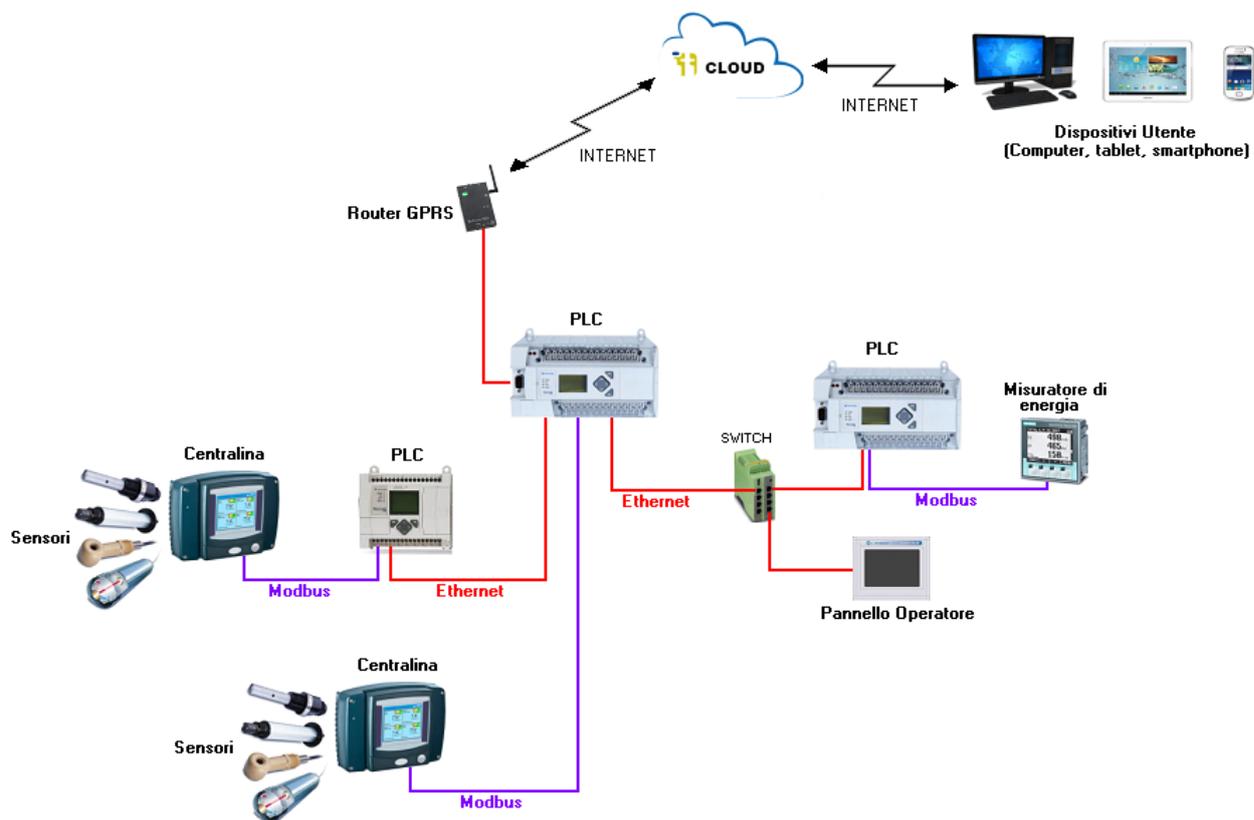


Fig. 5 - Architettura della strumentazione di campo – Castellana Grotte

## 5. Le apparecchiature di telecontrollo e di automazione

### 5.1 Il PLC

In questo contesto la scelta del PLC quale apparecchiatura di acquisizione e telecontrollo è la più opportuna nell'ottica di integrare le funzionalità di automazione del processo e personalizzarle agli obiettivi della ricerca in sede di prototipazione (che sono poi quelli della ottimizzazione gestionale in sede successiva di industrializzazione).

I PLC, installati negli impianti dei diversi OR, opportunamente equipaggiati con moduli di Ingressi/Uscite digitali e analogici, router per la comunicazione, protezioni alle sovratensioni, alimentatore e caricabatterie, assolvono alle seguenti funzioni:

- **Acquisizione, validazione e storicizzazione misure**

Per le misure idrauliche (pressione, portata, ecc) il PLC effettua la lettura continua (ad ogni ciclo di scansione) del valore misurato attraverso lo standard 4-20 mA, tramite la scheda di acquisizione analogica che esegue la conversione analogico-digitale con definizione a 16 bit.

Le misure di processo (pH, conducibilità, nitrati, solidi sospesi, ecc.) vengono acquisite mediante protocollo Modbus RTU dalla centralina multicanale che controlla le sonde digitali installate.

Su entrambe le misure, quelle acquisite tramite 4-20 mA e quelle rilevate dalle sonde tramite la centralina digitale il PLC effettua la verifica di accettabilità del valore, assegnando i suddetti codici di qualità (CQ):

- = 0 se il valore della misura è OK
- = 1 se il valore della misura è fuori soglia min e Max attesa
- = 2 se la sonda è in allarme (sono acquisiti dal PLC gli allarmi: guasto modulo di misura sonda/una o più misurazioni della sonda sono di dubbia veridicità)

- = 3 se si è verificato un guasto hardware (PLC spento/Mancanza collegamento PLC-Centralina/ Errore HW cumulativo sonda/valore misuratore non compreso tra 4-20 mA, nel caso di misura di processo non proveniente dalla centralina SC1000. Es. portata, livello, pressione)

Qualora si verifichi una delle tre condizioni di anomalia CQ=1 - 2 - 3 la misura viene “forzata” a zero.

La memorizzazione dei dati all’interno del PLC si realizza attraverso una struttura FIFO (First In First Out) costituita da N files di tipo integer di 251 elementi. Il logging nel PLC consente di non perdere dati in caso di disservizio del vettore trasmissivo.

- **Acquisizione e storicizzazione eventi e allarmi**

Il PLC acquisisce i cambiamenti di stato di tutte le segnalazioni digitali (marcia/arresto pompa, allarme batteria in scarica, funzionamento PLC da batteria, ecc.) predisposte sugli impianti. Si distinguono eventi corrispondenti a variazioni di stato di organi di impianto ed allarmi corrispondenti a variazioni di stato legate a situazioni di allarme.

Tutti gli eventi e allarmi, archiviati unitamente alla relativa data e ora, vengono memorizzati e resi disponibili al centro di controllo ad intervalli di tempo impostabile.

- **Automazione di processo**

Per l’impianto pilota MBR di Castellana Grotte (Sito 1) stato sviluppato un software PLC a ladder che gestisce l’automazione del processo secondo le specifiche tecniche definite con i partner coinvolti nell’OR (Obiettivo Realizzativo) di competenza. In particolare il SW applicativo di automazione gestisce il funzionamento in automatico di:

- soffianti BL01 e BL02, installate rispettivamente nel comparto ossidazione e nella vasca MBR;
- pompa di ricircolo/spurgo CP02;
- elettrovalvole EV1 di ricircolo ed EV2 di spurgo;
- pompa di scarico permeato CP-03;
- pompa CP-01 per l’estrazione permeato (corrispondente alla marcia indietro dell’inverter) e per il controlavaggio (corrispondente alla marcia avanti).

Le pagine video visualizzate dall’applicazione WEB, di seguito illustrate, mostrano i parametri dell’automazione di processo configurabili da remoto via Internet.

**PARAMETRI MBR 1 - IMPIANTO DEPURATIVO SITO 1**

**SOFFIANTE BL-01**

FASCIA ORARIA	MINUTI PAUSA	MINUTI LAVORO
00-06	5	10
06-12	5	15
12-18	5	15
18-24	5	15

Soffiante in marcia  Soffiante in allarme  Soffiante in automatico

Numero massimo di avviamenti ora:

**SOFFIANTE BL-02**

FASCIA ORARIA	MINUTI PAUSA	MINUTI LAVORO
00-06	0	360
06-12	0	360
12-18	0	360
18-24	0	360

Soffiante in marcia  Soffiante in allarme  Soffiante in automatico

Numero massimo di avviamenti ora:

Minimo livello MBR x stop  cm      Livello rientro da minimo  cm

**POMPA CP-02 IN FASE DI RICIRCOLO**

FASCIA ORARIA	MINUTI PAUSA	MINUTI LAVORO
00-06	1	23
06-12	1	23
12-18	0	23
18-24	1	23

Pompa in marcia  Pompa in allarme  Pompa in automatico

Valvola di Spurgo per Ricircolo comando di chiusura attivo

Vasca di pesca pieno  Fase Ricircolo Attiva

Minimo livello MBR x stop  cm      Livello rientro da minimo  cm

**POMPA CP-02 IN FASE DI SPURGO**

Orario Spurgo Giornaliero  :

Tempo Durata Spurgo (sec)

Volume Max Spurgato (l/s)

Valvola di Ricircolo per Spurgo comando di chiusura attivo

Fase Spurgo Attiva

Vasca di Pesca Piena

Pompa in marcia  Pompa in allarme  Pompa in automatico

Minimo livello MBR x stop  cm      Livello rientro da minimo  cm

Data e ora: 1 / 4 / 2014 16:0 :38

**PARAMETRI MBR 2 - IMPIANTO DEPURATIVO SITO 1**

**POMPA CP-01**

Commutatore SW:  ATTIVO  DISATT.

Regime Funzionamento:  PID Q.  F. FISSA

Pompa in marcia Estrazione  Pompa in Controlavaggio  Pompa in allarme

Comando apertura EV Controlavaggio Attivo

Gestione Frequenza Fissa		Gestione PID di Portata	
Setpoint Frequenza (Hz)	19,0	Setpoint Portata (Hz)	400
Minimo Livello MBR x stop (cm)	110	Massima Frequenza (Hz)	20,0
Minima Pressione x Stop (mbar)	600	Minima Frequenza (Hz)	15,0
Smin Pressione x Stop (mbar)	-600	Livello Rientro da Minimo (cm)	130
Minima Pressione x Allarme Generale (mbar)	-600	Pressione Rientro da Massimo (mbar)	600
		Pressione Rientro da Smin (mbar)	-600

**CONTROLAVAGGIO**

Controlavaggio:

Setpoint (Hz)	15,0	Tempo di pausa (sec)	60
		Tempo di lavoro (min)	9

Gestione Manuale (attiva solo con commutatore software disattivo)

Setpoint Frequenza (Hz)

Data e ora: 1 /4 /2014 16:0 :38

**POMPA CP-03**

TK-03 Serbatoio Vuoto  TK-03 Galleggiante MAX Livello

Pompa in marcia  Pompa in allarme  Pompa in automatico

**Allarme Generale Lampada Fronte Quadro**

Allarme Attivo	<input type="checkbox"/>
Vasca Vuota Sollevamento vs MBR	<input type="checkbox"/>
Vasca Vuota Prelievo Pompa Monho	<input type="checkbox"/>
Vasca Vuota Protezione Membrane	<input type="checkbox"/>
Serbatoio Vuoto TK-03	<input checked="" type="checkbox"/>
Soffiante BL-01 Max Avviamenti ora	<input type="checkbox"/>
Soffiante BL-02 Max Avviamenti ora	<input type="checkbox"/>
Allarme Max Pressione PS-01	<input type="checkbox"/>
Allarme Min Pressione PS-01	<input type="checkbox"/>
Allarme Smin Pressione PS-01	<input type="checkbox"/>
Fuori Servizio Portata FT-01	<input type="checkbox"/>
Fuori Servizio Portata LSP-01	<input type="checkbox"/>
Fuori Servizio Pressione PS-01	<input type="checkbox"/>
Scatto Termico Soffiante BL-01	<input type="checkbox"/>
Scatto Termico Soffiante BL-02	<input checked="" type="checkbox"/>
Allarme Inverter CP-01	<input type="checkbox"/>
Scatto Termico Pompa CP-02	<input type="checkbox"/>
Scatto Termico Pompa CP-03	<input type="checkbox"/>

Il software applicativo residente nel PLC calcola l'energia attiva, reattiva ed il fattore di potenza del comparto biologico MBR, effettuando anche il calcolo delle ore di funzionamento delle pompe, necessari per la reportistica degli indicatori dei consumi e del funzionamento dell'impianto a livello di applicazione WEB.

**CONSUMI ENERGETIVI MENSILI - COMPARTO BIOLOGICO MBR**

SELEZIONARE UNA DATA:

GG	IMPIANTO MBR		
	Energia Attiva (kWh)	Energia Reattiva (kVArh)	Fattore di potenza(cosp)
01	107,17	58,12	0,879052829723364
02	106,95	57,94	0,879261838615607
03	106,11	58,27	0,876531398970674
04	104,99	58,62	0,873123617244968
05	104,35	57,68	0,875195747198504
06	103,67	57,98	0,87275776270242
07	105,90	57,63	0,878361114539082
08	111,50	61,91	0,874271907944693
09	110,90	64,81	0,863377669915459
10	109,36	64,88	0,860035936814021
11	107,99	64,55	0,858347361470929
12	107,87	63,99	0,860057025798851
13	107,31	63,97	0,858958483813782
14	107,74	64,06	0,859541571108459
15	109,76	64,60	0,861813083182219
16	109,16	64,35	0,861457086664272
17	107,93	64,98	0,856714520404097
18	107,36	64,71	0,856456472480924
19	106,65	63,89	0,857847585477281
20	108,60	64,12	0,861109584424643
21	108,05	64,31	0,859312025389313
22	105,72	58,47	0,875081034110031

## 5.2 Il Router

Il router GPRS/Edge utilizzato per la gestione delle comunicazioni in rete IP, di tipo industriale, ha le seguenti caratteristiche:

- GPRS multi-slot class 12
- Alimentazione a 24 Vdc. e montaggio su guida DIN.
- Sicurezza garantita tramite implementazione di VPN con codifica cifrata dei dati (IPSEC), autenticazione del nodo della rete e verifica di integrità dei dati.
- Funzioni di accesso remoto sicuro.

## **6. L'infrastruttura di rete per la trasmissione dati**

### **6.1 Vettore di trasmissione dati utilizzato: GPRS/Edge**

La tecnologia di telefonia mobile cellulare utilizzata per la comunicazione tra gli impianti ed il centro di controllo è il GPRS/Edge che presenta i seguenti vantaggi:

- Prontezza real time grazie alla sua modalità "sempre on line" (always-on).
- Soddisfacente disponibilità tramite una copertura sovrapponibile a quella della rete GSM e convenienti tariffe a volume.
- Apertura al mondo della Information Technology e dei relativi servizi grazie alla connettività Ethernet tramite Internet Protocol (IP).

### **6.2 L'infrastruttura di rete : VPN con protocollo IPSEC**

Per consentire in sicurezza l'interconnessione tra la rete locale di impianto ed il centro di controllo attraverso il mondo Internet è essenziale realizzare una VPN (Virtual Private Network), rete virtuale riservata, composta da una collezione di protocolli e meccanismi di sicurezza.

In particolare per questo sistema è stata realizzata una VPN, con protocollo IPSEC (IP Security) in Tunnel mode, tra le centraline installate nei 7 impianti ed il Centro di controllo al fine di garantire maggiore sicurezza nella trasmissione dati grazie all'autenticazione sicura (identificazione) del nodo della rete, la codifica cifrata ed il controllo di integrità dei pacchetti IP.

#### **- Autenticazione**

Il traffico dati è controllato. L'autenticazione di un nodo nella rete avviene mediante preshared Key o certificati X.509 e non semplice controllo sull'indirizzo IP, poiché questo può essere falsificato (IP-Spoofing).

#### **- Codifica cifrata dei dati**

Per la protezione del traffico dati da manipolazione, il protocollo IPSEC utilizza una codifica cifrata sicura (3DES, AES, ecc) per rendere il traffico dati incomprensibile ad ogni intruso nella rete.

#### **- Controllo di integrità dei pacchetti IP**

Viene effettuato un check dell'integrità del messaggio, tramite una funzione di hash (MD5 o SHA1), in modo da verificare che i dati trasmessi tra i due nodi interconnessi non siano stati alterati accidentalmente o da terze parti.

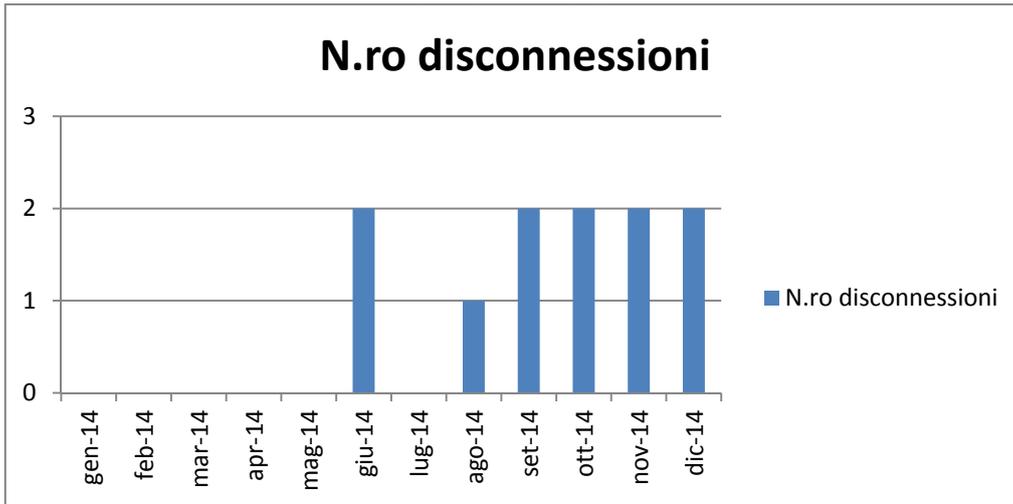
Per l'implementazione di questa tecnologia è necessario verificare la compatibilità degli apparati da interconnettere lato nodo remoto (router 3G/4G) e lato centro (VPN Concentrator). Per il progetto PON In.Te.R.R.A. sono stati utilizzati router e VPN Concentrator dello stesso brand.

L'affidabilità e le prestazioni di una VPN basata su Internet si basano sui livelli di servizio dei provider di connettività impiegati e dalla tipologia di vettore utilizzato (GPRS, EDGE, UMTS)

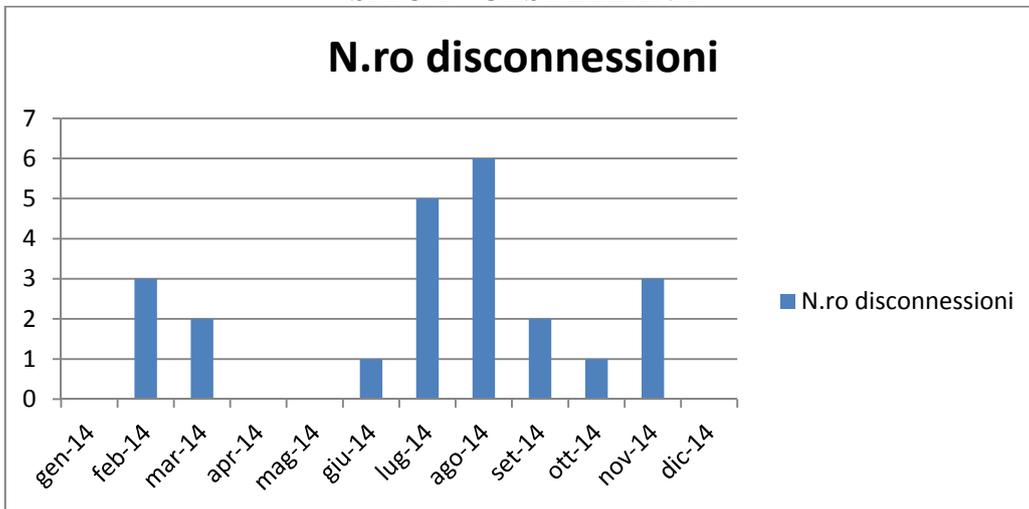
Dopo apposite ed accurate prove e verifiche di copertura in campo, per questo progetto è stato utilizzato il gestore di telefonia cellulare WIND, più vantaggioso dal punto di vista economico ed altrettanto valido dal punto di vista del numero di disservizi (disconnessioni) create alla VPN.

Effettuando un'analisi statistica sulla ricorrenza delle disconnessioni mensili, loggate nel database residente nel server presso il Centro di Controllo, prendendo a campione 3 impianti dove la qualità del segnale GPRS è accettabile, è emerso quanto segue.

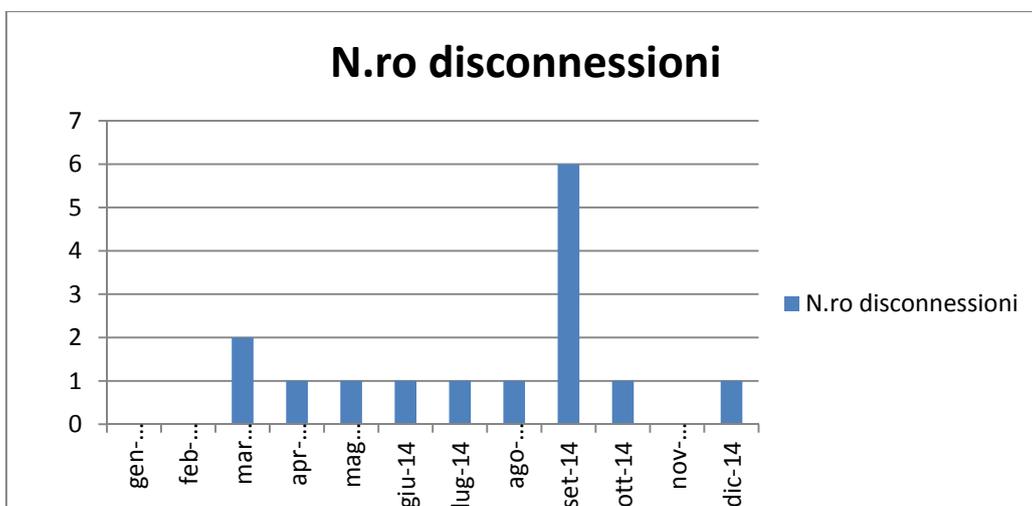
### SITO 2 - NOCI



### SITO 1 - CASTELLANA



### SITO 4 - TRINITAPOLI



Per quanto riguarda la durata si tratta di interruzioni che vanno da circa 1 ora ad un massimo di 6 ore, non sono state considerate le microinterruzioni di qualche minuto.

Il risultato complessivo rapportato alla dinamica del processo telegestito è sicuramente accettabile.

Al fine quindi di preservare i dati storici degli impianti, per sopperire alla mancanza temporanea di connessione dovuta al gestore di telefonia mobile, è necessario implementare la funzione di “Store & Forward” che memorizza localmente i dati (in questo progetto sono stati memorizzati in un area dati del PLC) e li rinvia al Centro quando la connessione si ristabilisce.”

## **7 Il Centro di Controllo**

Il Centro di Controllo installato presso il partner tecnologico del PON In.Te.R.R.A. che ha implementato il sistema ICT a servizio della ricerca tecnico-scientifica è costituito da una infrastruttura hardware e software rispondente ai paradigmi del Cloud Computing, di seguito descritte.

### **7.1 Architettura infrastrutturale del sistema**

Le componenti infrastrutturali del Centro di controllo sono:

- I sistemi hardware (server, UPS, switch, storage, VPN concentrator/firewall, router ADSL)
- Le machine virtuali
- Il database RDBMS SQL Server

In particolare:

- N.1 Server ridonato, basato su n. 2 processori Intel Xeon 6 core, sistema operativo Windows Server 2008 R2 64 bit come Web Server e server di comunicazione verso il campo; il server ospita N. 2 macchine virtuali VMware per l'esecuzione dei driver di comunicazione verso gli impianti remoti.
- N. 1 Storage dove risiede il database SQL Server condiviso, collegato in rete Ethernet ai due server
- L'apparecchiatura di comunicazione (VPN Concentrator) per la creazione dei tunnel IPSEC con gli impianti remoti avente anche funzioni di firewall e router ADSL per l'interfaccia verso Internet.

### **7.2 Architettura software del sistema**

I blocchi principali dell'architettura software del sistema di telecontrollo (Fig. 6) sono:

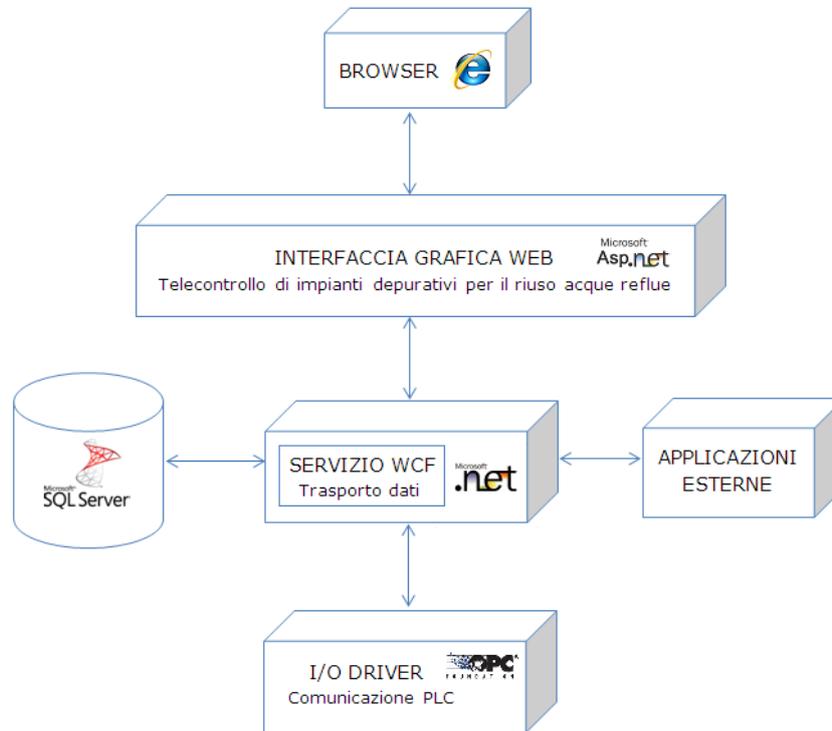
- Il Driver di comunicazione verso i PLC remoti che attraverso lo standard OPC (OLE for Process Control) acquisisce i dati dagli impianti in tempo reale.
- La logica applicativa che implementa la funzione di logging dei dati sul database SQL ed ospita il servizio WCF (Windows Communication Foundation) per il trasporto dei dati on line verso applicazioni esterne e verso la “web application” del sistema di telecontrollo.
- La “web application” che realizza l'interfaccia grafica del sistema di telecontrollo (pagine video grafiche, report, grafici, ecc) e quindi la logica di interazione con gli utenti.

### **7.3 Le componenti applicative**

Il sistema di telecontrollo degli impianti di depurazione per il riuso irriguo delle acque reflue è stato implementato con interfaccia grafica WEB based, dove l'utente dopo aver inserito le credenziali ha accesso alle seguenti componenti applicative:

- Pagina video grafica con la rappresentazione delle misure in tempo reale
- Elenco degli allarmi che si sono verificati nell'arco temporale specificato
- I trend storici delle misure di processo, evidenziando con colore diverso le parti di grafico relativo a valori non attendibili.

- I report relativi alle ore di funzionamento delle pompe installate in campo per gli impianti pilota MBR e FDG, alla media e deviazione standard per le misure di pH, conducibilità, temperatura, ecc., i consumi energetici del comparto biologico MBR giornalieri e mensili, le misure di umidità del terreno irrigato.
- L' esportazione dei dati di impianto in formato Excel.



**Fig. 6 - Architettura Software del Sistema**

## **8. Alcuni esempi di fruizione del portale: l'esperienza del partner IRSA-CNR**

Le Figure 7-8-9 illustrano alcune delle funzionalità applicative tipiche di un sistema di telecontrollo (monitoraggio e controllo delle linee di processo, log allarmi, trend misure, elaborazioni periodiche, esportazione dati, ecc.), fruibili dal portale del PON In.Te.R.R.A. ed accessibili attraverso le credenziali rilasciate ai vari partner coinvolti nello sviluppo dei diversi OR del progetto, con utilizzo contemporaneo ed indifferente di smartphone, tablet, postazioni PC fisse (Fig. 10).

Il portale realizzato a supporto della ricerca tecnico-scientifica per il riuso irriguo delle acque reflue depurate nell'ambito del progetto "In.Te.R.R.A." (2011-2014) è stato utilizzato dai partner dello stesso progetto per il controllo degli impianti sperimentali e per l'acquisizione di dati in tempo reale.

In particolare L'IRSA-CNR ha cercato di sfruttare tutte le potenzialità del portale sin dalla sua prima pubblicazione (ottobre 2012), partecipando, come utente critico, al miglioramento dello stesso.

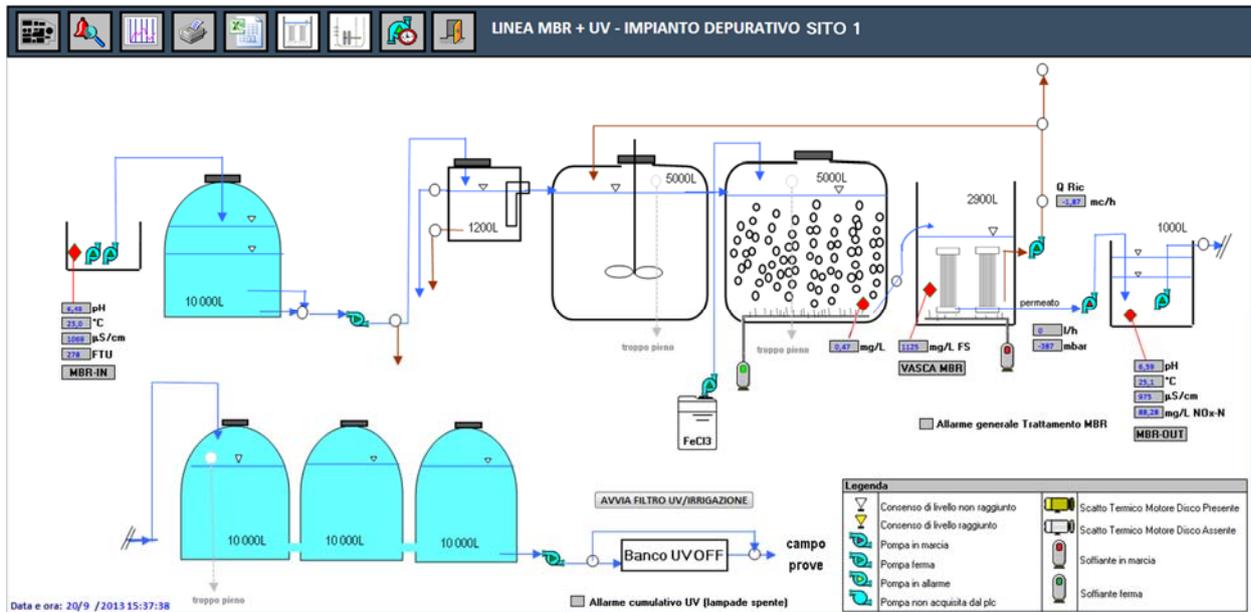


Figura 7– Linea MBR Castellana Grotte

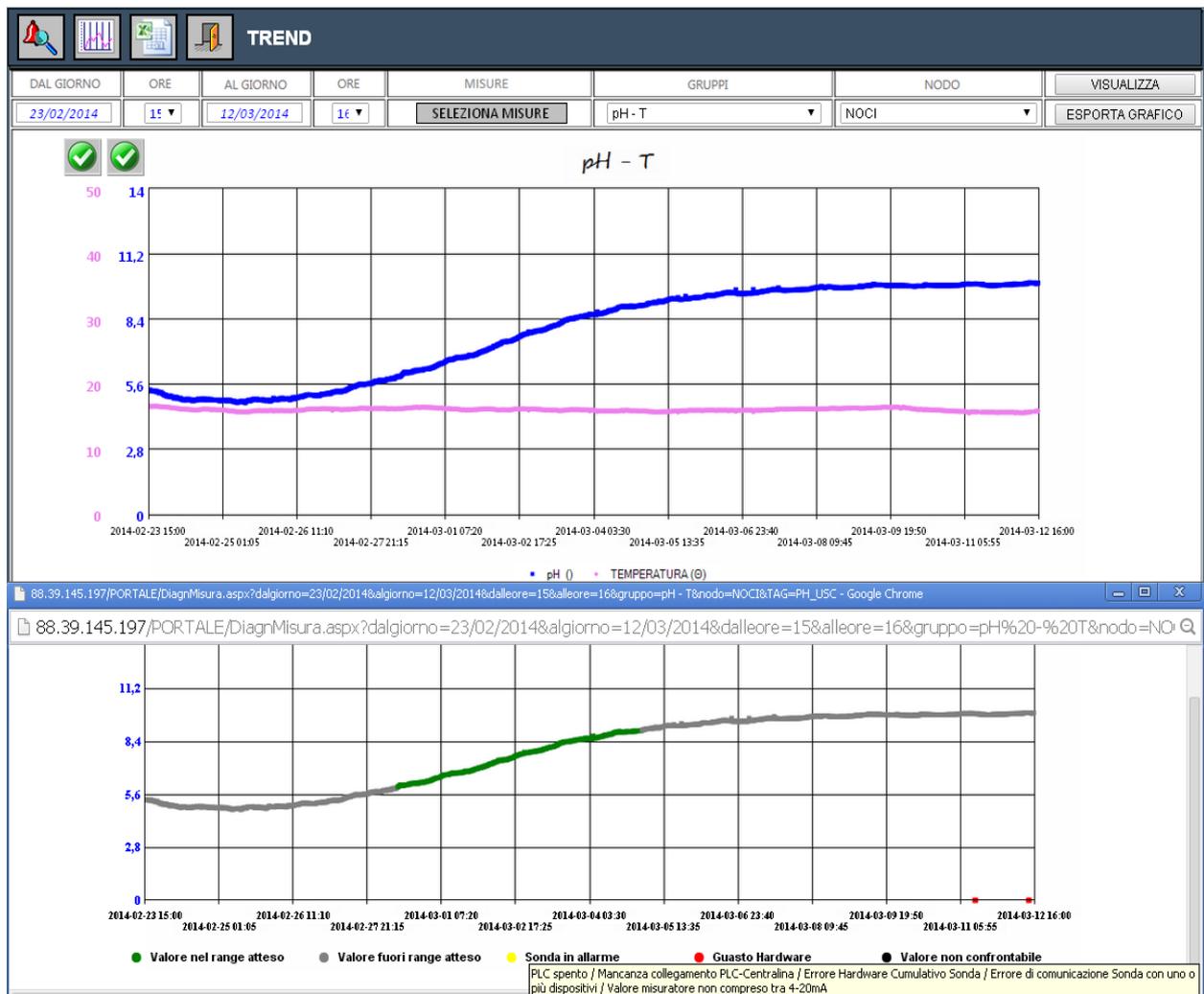


Figura 8 – Trend misure



Figura 9 – Esportazione dati

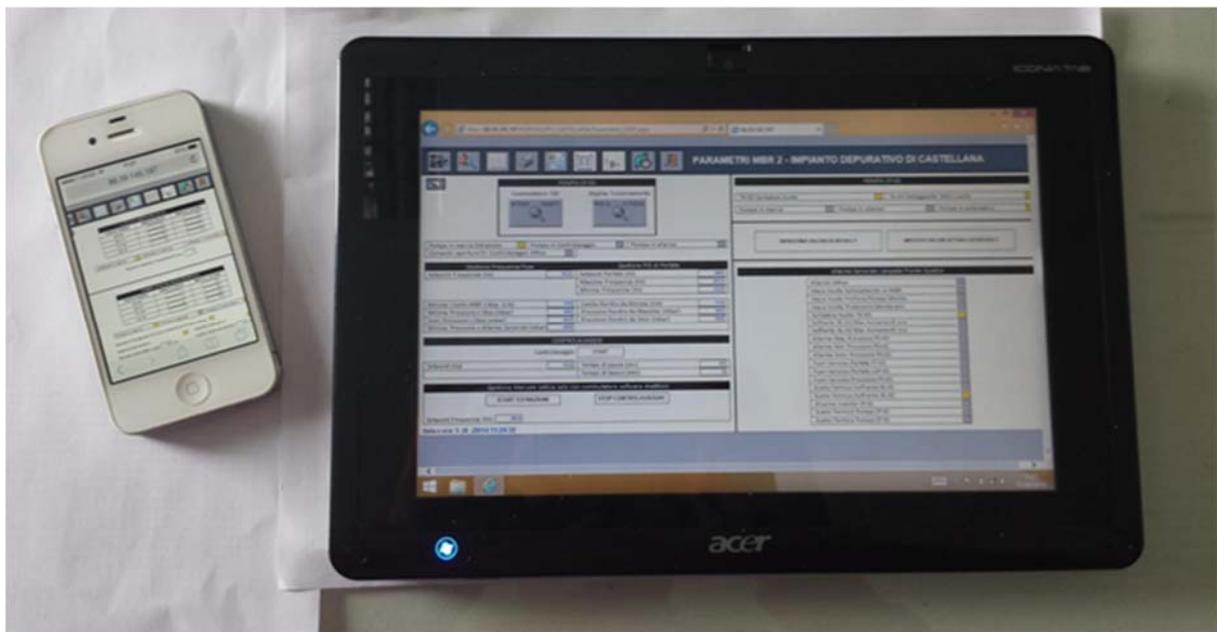


Figura 10 – Terminali mobili di accesso al CLOUD

Diversificata e proficua è stata la fruizione del portale da parte dei partner ricercatori (in particolare il CNR-IRSA – BARI), che nell’assolvimento delle proprie investigazioni tecnico-scientifiche relative al funzionamento degli impianti di processo ha massimizzato i vantaggi rivnienti dalla fruizione del CLOUD realizzato a servizio del PON In.Te.R.R.A.

## 9. Risultati e Conclusioni

La progettazione e la realizzazione del sistema di telecontrollo degli impianti di depurazione per il riuso irriguo delle acque reflue a servizio del PON In.Te.R.R.A. rappresenta una delle diverse applicazioni IOT (Internet of Things), grazie alla quale i software applicativi sviluppati su piattaforma WEB e accessibili da PC, Tablet, Smartphone, comunicano con i dispositivi di campo (sensori, PLC, attuatori, ecc.) e con qualsiasi applicazione esterna interoperabile.

La sperimentazione e l'attuazione delle metodologie ed architetture HW/SW per sistemi di telecontrollo aperti verso altri sistemi enterprise e verso Internet, garantisce la fruibilità del sistema non solo per i soggetti partecipanti al PON ma anche per gli enti pubblici e privati interessati ai risultati prodotti dalla ricerca sul riuso delle acque depurate per scopi irrigui (Public Utility, ARPA, Enti di Ricerca, ecc.), con la rigorosa osservanza dei seguenti requisiti:

- ✓ validazione delle misure di processo in campo, attraverso la identificazione delle cause di mancata misurazione ed inaffidabilità del dato acquisito;
- ✓ integrazione delle acquisizioni elettrostrumentali ed impiantistiche rivenienti rispettivamente dal processo (uscita vs irrigazione campi sperimentali) e dai package elettromeccanici costituenti gli impianti (MBR, FDG, membrane);
- ✓ security e modalità di trasmissione dati su supporto GPRS;
- ✓ visualizzazione grafica dei dati in tempo reale ed analisi dei dati storici relativi a: misure di processo, ore di funzionamento degli organi di impianto, consumi elettrici
- ✓ virtualizzazione, ridondanza e continuità di funzionamento, per supportare in scalabilità, affidabilità e sicurezza i servizi richiesti dal sistema di telecontrollo in Cloud.

Una volta definito il modello del sistema di telecontrollo e gestione per il riuso irriguo delle acque reflue depurate, per ulteriore completezza delle informazioni raccolte si potrebbe pensare alla definizione di un modello di misurazione delle performance del sistema di riuso delle acque reflue e relativa implementazione software di un cruscotto di indicatori sia su mobile tramite APP che portale WEB .

Il modello deve essere costituito da un cruscotto di indicatori, quale strumento adatto sia per scopi operativi da parte degli enti gestori degli impianti, sia per scopi di conoscenza per i cittadini e altri portatori di interesse.

Il cruscotto dovrà essere alimentato dai dati provenienti dai sensori, misuratori e PLC installati in campo e da qualsiasi altra fonte di dati interoperabile appartenenti a soggetti terzi.

La valenza dell'applicazione tecnologica sviluppata è amplificata dal contributo che il sistema ha potuto offrire al raggiungimento degli obiettivi del PON In.Te.R.R.A., ovvero del contesto che ha reso possibile l'implementazione del sistema.

Il progetto di ricerca e sperimentazione In.Te.R.R.A. applicato a più siti sperimentali, ha coinvolto, ognuno per le proprie competenze e professionalità, numerosi enti di ricerca, università e imprese operanti sul territorio pugliese, fortemente bisognoso della pratica del riuso irriguo in quanto notoriamente tra i più sitibondi in Europa.

Gli incoraggianti risultati del progetto hanno evidenziato che nelle aree dell'Italia meridionale, caratterizzate da precipitazioni insufficienti a soddisfare le esigenze idriche delle colture specie nel periodo primaverile-estivo, i reflui urbani e agroindustriali depurati sono utili per stabilizzare le produzioni agricole, la cui produttività dipende fortemente dall'andamento pluviometrico, ed anche per migliorarle grazie al loro contenuto in elementi nutritivi.

Pertanto le acque reflue costituiscono un'importante risorsa disponibile e nutrizionale.

La qualità delle acque reflue, urbane ed agroindustriali affinate e utilizzate nell'ambito del progetto per l'irrigazione dei campi sperimentali, ha sempre presentato valori chimico-fisici e microbiologici inferiori ai pur restrittivi limiti di legge (D.M. 185/2003), oltre a buona qualità eco-tossicologica.

Lo studio economico, rivolto a confrontare i costi di emungimento delle acque di falda con i costi di adeguamento degli impianti, ha evidenziato come le acque reflue rappresentano in molti casi una risorsa alternativa economicamente vantaggiosa a cui si aggiunge anche il beneficio ambientale del “non scarico”.

In definitiva l’esperienza del progetto In.Te.R.R.A. ha dimostrato come il telecontrollo, sviluppato utilizzando le piattaforme ICT più avanzate e basate sull’utilizzo di Internet (Cloud, IoT, ...), può contribuire più decisamente a coinvolgere e sensibilizzare la SMART COMMUNITY e l’intera popolazione su temi di grande ricaduta e largo impatto socio-economico-politico-culturale quali l’acqua e l’ambiente.

Tutti i dettagli del progetto, unitamente alle “Linee guida per il riuso irriguo delle acque depurate”, edite e pubblicate nel 2015 in apposito testo a cura di Pietro Rubino e Antonio Lonigro (Dipartimento di Scienze Agro-Ambientali e Territoriali – Università degli Studi di Bari), sono disponibili sul sito del PON [www.pon-interra.it](http://www.pon-interra.it)

***INTESIS desidera ringraziare il Ministero dell'Istruzione Università e Ricerca (MIUR) per il suo supporto finanziario del progetto PON In.Te.R.R.A. N. 01\_01480\_11, nell'ambito del Programma Italiano "PON Ricerca e Competitività 2007-2013"***



