

ARCHITETTURA DI UN SISTEMA DI MONITORAGGIO E GESTIONE DEL SISTEMA IDRICO INTEGRATO DELL'ENTE DI AMBITO "SELE"¹

Gerardo Iovane, Carmine Landi, Vincenzo Loia²

INTRODUZIONE

La direzione verso cui si vanno orientando le più moderne aziende fornitrici di servizi è quella dell'incremento dell'automazione. Notevoli sono i vantaggi sia in termini economici che in termini di qualità dei prodotti e dei servizi offerti.

L'automazione dei processi di una azienda quale quella di distribuzione idrica comporta da una parte il controllo automatico, cioè in tempo reale, dello stato della rete (livello dei serbatoi, portate da immettere nei serbatoi, azionamenti di sistemi di pompaggio, etc.) con eventuale retroazione sul campo e dall'altra la gestione di tutte le manovre necessarie, nonché la gestione on-line di allarmi.

L'uso di dispositivi intelligenti è importante non solo per il controllo dei processi, ma anche per il monitoraggio e la supervisione della produzione globale, in quanto, consentendo l'acquisizione di un grande numero di variabili, permette di: archiviare informazioni, analizzare processi di produzione e migliorare la qualità del prodotto, attraverso l'organizzazione ottimizzata dell'impianto, come peraltro richiesto dallo standard ISO 9000.

Svolgendo un'analisi, sia a livello nazionale che internazionale, circa gli sviluppi tecnologici nell'area dell'automazione, e focalizzando questa valutazione sulle linee di tendenza della ricerca e sviluppo che corrispondono alle reali esigenze applicative di medio/lungo termine nella gestione del ciclo dell'acqua, si ottengono alcune interessanti risposte. Tra queste, una conclusione importante è che, di fatto, il settore dell'automazione può fornire un adeguato aiuto all'industria dell'acqua nel rispondere alle domande future del mercato. Questa conclusione è anche supportata dalle azioni che svolge lo User Group of European Water Industry (all'interno del progetto Indacqua, finalizzato dalla Unione Europea, DG III); in particolare il compito di questo organismo internazionale a scala europea è favorire l'impiego e la disseminazione di tecnologie dell'informazione nell'industria dell'acqua.

Da quanto detto emerge che, per una moderna ed efficace gestione del servizio idrico integrato, è necessario disporre di un sistema informativo geografico che consenta di controllare in tempo reale ed al tempo stesso di coordinare efficacemente utenze lontane tra loro, senza però tralasciare i requisiti di costo contenuto e di affidabilità di esercizio.

Sotto quest'ottica, lo scenario futuro di sviluppo dei sistemi di telecontrollo ed automazione si può basare principalmente sulle tecniche innovative derivanti dal settore dell'informatica: in particolare, saranno la sensoristica, la telematica e l'intelligenza artificiale, unite alla crescita delle prestazioni dell'hardware e dei sistemi di telecomunicazione, a proporre le migliori soluzioni alle esigenze applicative future del settore della gestione del servizio idrico integrato.

I. ANALISI DELLE ESIGENZE E PERTINENZE ALL'INTERNO DELL'ENTE DI AMBITO SELE .

La individuazione delle esigenze dell'Ente di Ambito è stata fatta a partire dall'analisi di quanto disponibile sul territorio, sia per quanto attiene le fonti di produzione, accumulo e trasporto e sia con riferimento alla presenza sul territorio di sistemi di telecontrollo.

¹ Estratto da Studio di fattibilità di un sistema di monitoraggio e gestione del sistema idrico integrato dell'Ente di Ambito Sele – Luglio 2001.

² Dott. Gerardo Iovane, Dipartimento di Fisica, Università di Salerno

Prof. Vincenzo Loia, Dipartimento di Informatica, Università di Salerno

Prof. Ing. Carmine Landi, Dipartimento di Ingegneria Informatica, Seconda Università di Napoli

Tale analisi, svolta partendo dalle indagini sul territorio fatte dalla SOGESID SpA, ha evidenziato la presenza di problematiche diverse per la contemporanea presenza di piccoli impianti con pochi utenti ed estensione limitata e di grossi impianti, distanti tra di loro anche parecchi chilometri. Inoltre l'orografia del territorio di pertinenza dell'ente di Ambito Sele è tale da rendere difficile anche collegamenti elettromagnetici a vista.

L'analisi dell'esistente è stata volta a considerare le problematiche di progetto legate alle diverse tipologie di impianti di telecontrollo presenti sul campo, anche in ragione delle diverse epoche in cui tali impianti sono stati realizzati al fine di integrare questi all'interno di un sistema informativo più vasto, su scala d'Ambito. Tale indagine, propedeutica a qualunque studio di progettazione di un sistema informativo territoriale, è stata svolta con l'ottica di prevedere non il rifacimento di tutto ciò che già esiste in campo, anche se obsoleto, ma l'integrazione di tali sistemi all'interno del sistema di telecontrollo su base d'Ambito. Inoltre, il sistema da progettare, dovrà tener conto anche dei dispositivi hardware installati al fine di fornire le linee guida per la loro graduale sostituzione senza inficiare il funzionamento del sistema attuale e creare problemi per il sistema finale. Nell'ottica descritta sono stati individuati i principali attori in campo che sono descritti sinteticamente nel seguito.

L' **ASIIA** (ex Consorzio AUSINO) è tra i grandi gestori acquedottistici. Esso serve tra l'altro parte della città di Salerno e soprattutto adduce l'acqua ai comuni della fascia costiera amalfitana e gestisce l'importante gruppo sorgentizio ubicato nel Comune di Acerno.

Le opere in gestione sono: n. 6 Sorgenti, n. 1 Pozzo, n. 3 Acquedotti, n. 42 Partitori (bottini o punti di consegna), n. 40 Serbatoi, n. 1 Impianti di clorazione, n. 11 Impianti di sollevamento, n. 143 Adduttrici. Il Consorzio ha in affidamento l'approvvigionamento idrico dei Comuni associati dalle sorgenti ai partitori. Le fonti di approvvigionamento autonomo sono prevalentemente le sorgenti dell'AUSINO e dell'AUSINETTO, tutte nel territorio comunale di Acerno.

L' **ASIS** (Azienda Speciale Idrica Salernitana) è tra i grandi gestori acquedottistici il più importante, per lo sviluppo della propria rete di adduzione, che va dal nord al sud dell'ATO 4.

Il volume consegnato ai Comuni è pari a circa 56 Mmc (milioni di metri cubici) all'anno, mentre il volume prodotto, stimato in base alla portata media delle risorse idriche gestite, è pari a circa 62.5Mmc all'anno.

Le opere in gestione sono: n. 5 Sorgenti, n.1 Pozzo, n. 2 Acquedotti, n. 60 Partitori, n. 84 Serbatoi, n. 10 Impianti di sollevamento, n. 109 Adduttrici.

L'Azienda dal 1998 ha in affidamento l'approvvigionamento idrico dei Comuni associati, dalle sorgenti ai partitori. Le principali risorse idriche ricadono in provincia di Avellino, per cui sotto il profilo amministrativo l'Azienda è da considerarsi anche interprovinciale.

Le risorse sono utilizzate unicamente per l'approvvigionamento degli stessi Comuni, con integrazioni ed interscambi tra Alto e Basso Sele (partitore di Paestum nel Comune di Capaccio) ed il CONSAC (Castellabate – Montecorice).

Il Consorzio Bonifica di Paestum ha in gestione: n. 3 Sorgenti, n. 2 campo pozzi, n. 1 Partitore, n. 7 Serbatoi, n. 7 Reti idriche, n. 6 Impianti di clorazione, n. 1 Impianto di sollevamento, n. 4 Adduttrici per una lunghezza complessiva di circa km. 17. Il Consorzio ha in affidamento l'approvvigionamento idrico dei Comuni consorziati, dalle sorgenti ai partitori, e la gestione di n. 7 reti. Le risorse sono utilizzate unicamente per l'approvvigionamento degli stessi Comuni consorziati. Le fonti di approvvigionamento autonomo sono le sorgenti "Castrullo" "Fonte" e "Valle Macchia" – quest'ultima non più in esercizio.

Il Consorzio Montestella di Rutino ha in gestione: n. 2 Sorgenti, n. 3 Partitori, n. 8 Adduttrici per una lunghezza complessiva di circa km. 17. Il Consorzio ha in affidamento esclusivamente l'approvvigionamento idrico dei Comuni consorziati, dalle sorgenti ai partitori. La risorsa è utilizzata unicamente dagli stessi Comuni. Le fonti di approvvigionamento autonomo sono le

sorgenti “Donnofierro” e “Acquacoperta”, entrambe ubicate alle falde del Montestella, di cui l’una ricade nel territorio comunale di Sessa Cilento e l’altra in quello di Omignano. L’adduzione tramite le otto adduttrici avviene per gravità.

Il **CONSAC (Consorzio Acquedotti Cilento)** gestisce o risulta proprietario dei seguenti impianti e/o opere: n. 2 Depuratori, n. 280 Serbatoi, n. 20 Impianti di sollevamento, n. 20 Impianti di protezione catodica, n. 4 Fabbricati, km. 806 di Rete di adduzione in proprietà, km. 984 di Rete di distribuzione in gestione da parte dei Comuni. Le principali fonti di approvvigionamento sono ubicate nei comuni di Sanza, Casaletto Spartano, Rofrano, Cuccaro Vetere, Montano Antilia, Novi Velia, Cannalonga, Montesano, Polla, Sassano, Camerata e Sapri. Serve una popolazione stabile di circa centodiecimila unità ed una popolazione fluttuante stimata in circa duecentomila unità.

Come si evince gli enti in campo sono numerosi, con esigenze diversificate e con sistemi di controllo e gestione che vanno dalla totale assenza di automazione a livelli di automazione avanzata. Il sistema di telecontrollo su base d’ambito non poteva certamente ignorare tali realtà, pertanto l’architettura proposta prevede la loro integrazione.

II. ANALISI DELLE ARCHITETTURE DI RETI TERRITORIALI PER LA SUPERVISIONE, AUTOMAZIONE E TELECONTROLLO.

In questa sezione vengono analizzate le principali architetture di rete che possono essere utilmente ed efficacemente impiegate nella realizzazione di un sistema di telecontrollo su base d’Ambito. In particolare, in questa sezione vengono trattate le principali architetture hardware da poter essere impiegate ed i relativi requisiti da tener conto al fine di perseguire gli obiettivi di analisi, oggetto del presente studio. Sono state individuate le gerarchie funzionali al fine di integrare l’esistente e fornire ampie linee guida per la progettazione del nuovo, con l’ottica di avere massima autonomia locale tale da consentire il funzionamento dei vari sottosistemi anche in mancanza di collegamento con il centro di supervisione, centro di supervisione riallocabile (anche dinamicamente), garantire future espansioni e garantire tempi di obsolescenza più lunghi.

In generale il progetto di un sistema di misurazione controllo ed automazione richiede, quindi, l’analisi di due opposti aspetti: a) la centralizzazione di comandi e di funzioni di supervisione e b) la decentralizzazione delle funzioni di processo.

Le difficoltà attuali nella gestione del sistema idrico intergrato derivano essenzialmente dalla molteplicità dei luoghi, dalla distanza tra i diversi centri operativi, dallo sfruttamento ottimale delle risorse.

II.1 L’Architettura: Alla luce di quanto detto le funzioni che il sistema automatico di telemisura e telecontrollo deve assolvere possono essere riassunte in: i) raccolta delle informazioni di misura dal campo per ogni area; ii) esecuzione di attuazioni sulle pompe e sulla rete; iii) trasporto delle informazioni raccolte tramite il collegamento delle varie aree tra di loro e con il controllore; iv) supervisione dell’intera rete idrica da un unico sito riallocabile dinamicamente; v) analisi in linea della rete mediante opportuni modelli matematici sia per il regime stazionario che transitorio *alimentati* dai dati dal campo.

Il soddisfacimento di queste esigenze può essere ottenuto mediante l’implementazione di una rete locale (LAN) per la connessione all’interno delle diverse aree ed una rete geografica (WAN) per la connessione delle diverse aree tra loro ed eventualmente collegate alla rete pubblica. La connessione delle apparecchiature al livello più basso viene fatto con un bus di campo (cfr. Fig. 1).

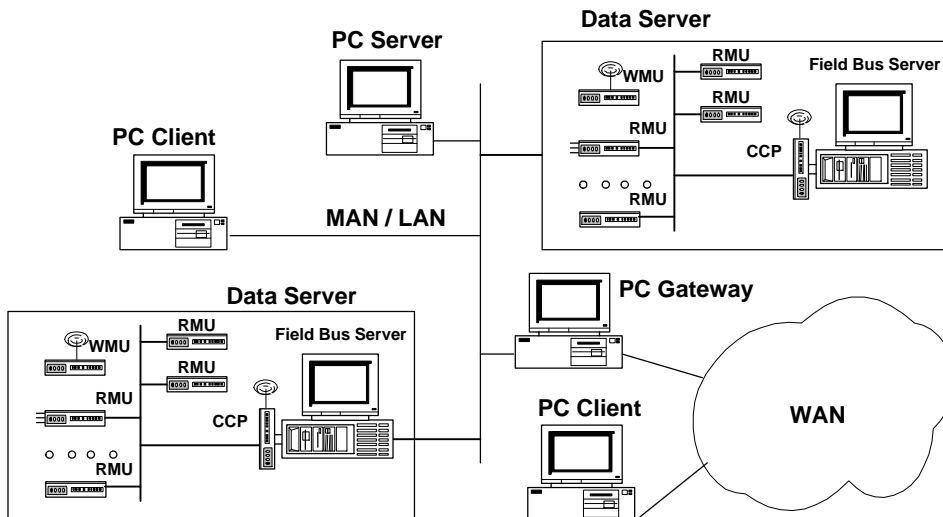


Fig. 1: Esempio di architettura di un sistema di automazione su rete geografica

Per la realizzazione di un sistema di telecontrollo e telegestione del sistema idrico integrato è quindi possibile prevedere una architettura di sistema basata su una capacità elaborativa distribuita, secondo i seguenti livelli gerarchici: i) Controllo principale dell'intero sistema idrico integrato; ii) Controllo di area o del singolo sito; iii) Controllo della singola apparecchiatura di raccolta dati; iv) Gestione della singola informazione (sia di ingresso che di uscita); v) Sensori ed attuatori (numerici o numericizzati).

La soluzione proposta, riportata in figura 2, garantisce la sicurezza intrinseca delle singole stazioni che potranno essere esercitate ad un livello alto in locale (considerando la singola area), ed ad un livello ancora superiore, integrando le informazioni nell'intero sistema di gestione.

In questo sistema, inoltre, il controllo principale non è geograficamente vincolato, bensì può essere implementato in ciascun nodo della rete; ogni blocco del sistema si comporta come una unità di controllo per le apparecchiature di livello inferiore, mentre diventa esso stesso una delle apparecchiature per il controllore di livello superiore.

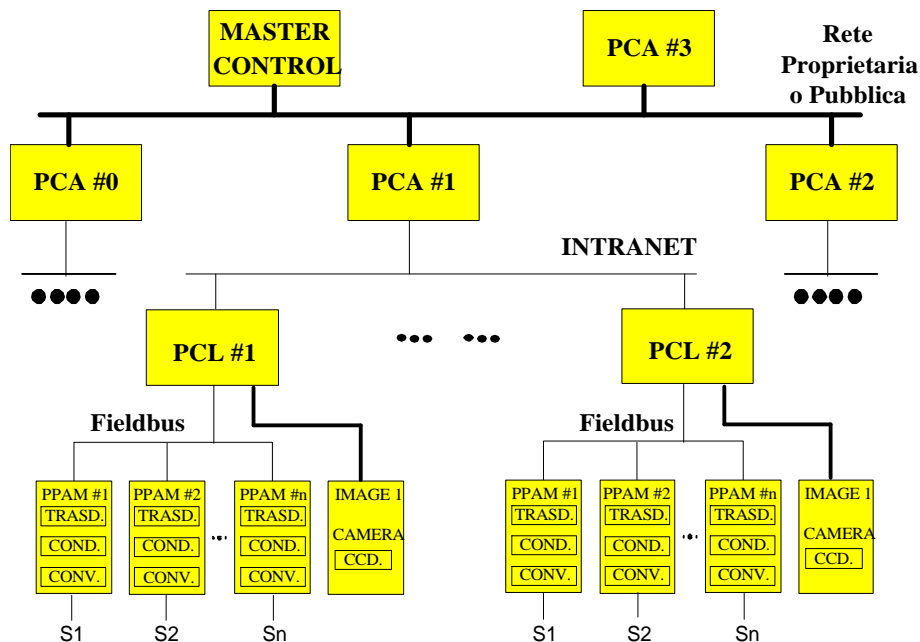


Fig.2: Architettura generale del sistema di controllo ed attuazione.

L'architettura proposta prevede blocchi funzionali (Processori, costituiti da hardware e software) dotati di massima autonomia locale, con protocolli ed interfacce di comunicazione standard per colloquiare con periferiche esterne o con altri processori per l'esecuzione di misure complesse. Questa scelta consente una facile riconfigurabilità della stazione e quindi l'adattabilità della stessa ad esigenze di misura in un vasto campo di applicazioni.

Con riferimento alle esigenze dell'Ente ed alla disponibilità tecnologica a breve e medio termine, sono state analizzate le principali strutture di rete di trasmissione dati disponibili. In particolare sono stati dati sia i principi di progettazione di una rete informativa e sia le basi per la scelta del *media* di comunicazione più idoneo con riferimento alla dislocazione dei vari siti da controllare. Particolare attenzione è stata poi prestata alla possibilità di integrazione del sistema informativo territoriale in sistemi informativi, pubblici o privati, disponibili sul territorio. Per il progetto della infrastruttura della rete di telecomunicazione si devono considerare, ai fini della flessibilità, diversi importanti aspetti: i) *Le architetture proprietarie*, ii) *Gli standard "de facto"*; iii) *Gli standard "de iure"*, iv) *L'evoluzione tecnologica*.

Attualmente le possibilità tecnologiche, disponibili a breve e medio termine, per la realizzazione di infrastrutture di rete proprietarie con le caratteristiche richiamate si possono riassumere in: collegamento wireless e collegamento in fibra ottica. È pleonastico dire che i due *media* possono essere integrati.

Se si opta per la soluzione proprietaria è possibile montare, nelle zone meno densamente popolate di servizi, un link a micronda, adottando il link in fibra, posata in testa alle condotte di adduzione, per le sezioni d'impianto che afferiscono a comuni più facilmente raggiungibili. Altra considerazione di non poco conto è la alimentazione degli apparati attivi (switch di rete); questi devono essere installati dove è prevista la presenza della rete elettrica, sarebbe troppo oneroso posizionarli in siti da alimentare con fonti rinnovabili.

Una considerazione di non poco conto è la scelta del protocollo di rete. Tale scelta condiziona la modalità di funzionamento in tempo reale e la obsolescenza del sistema. È opinione degli autori che il protocollo più idoneo sia ATM, o comunque un protocollo asincrono a pacchetto. L'adozione di ATM non vincola la velocità del sistema alla periferica più lenta ed è pertanto capace di integrare, con poche difficoltà l'esistente.

Discorso totalmente diverso è quello dell'adozione di un fornitore di servizi telematici. In questo caso è necessario integrare le proprie esigenze con le disponibilità del provider. In particolare, sono da preferire collegamenti tipo ISDN o ASDL, in grado di garantire comunque il collegamento punto-punto, necessario per poter operare una telegestione in sicurezza degli impianti.

E ovvio che è possibile suddividere le infrastrutture in parti proprietarie e parte di fornitori terzi.

II.2 Il modello della rete: Per poter gestire in tempo reale una rete di distribuzione si rende necessaria la messa a punto di modelli matematici di simulazione del suo funzionamento in grado sia di valutare l'influenza delle condizioni esterne effettivamente imposte sulle grandezze incognite (portate circolanti nei lati della rete, quote piezometriche nei nodi, livelli idrici nei serbatoi, etc.), sia di definire e predisporre gli interventi più idonei a fronteggiare situazioni di emergenza o di punta che, al variare del tempo, possono localizzarsi in zone diverse del sistema distributivo.

In condizioni normali di esercizio, nelle reti di distribuzione idrica a scopo potabile o irriguo, la gradualità con cui vengono effettuate le manovre sui dispositivi di regolazione, di intercettazione, di erogazione e di avviamento o di distacco di impianti di sollevamento, rende lecito prescindere, nello studio del processo di moto vario che ha luogo in rete, dai fenomeni dipendenti dalla elasticità del liquido e delle pareti delle condotte. Inoltre ogni nodo della rete e in ogni istante di tempo, poi, deve essere soddisfatta la condizione di continuità delle portate volumetriche.

Quando la complessità della rete è alta o si è in presenza di mancanza di informazioni specifiche si può far ricorso a regole empiriche per la determinazione dei parametri di interesse o di valutazioni di situazioni particolari. Inoltre, talvolta in un processo a catena informazioni di qualità incerta,

derivate applicando processi non deterministici, sono utilizzate come parametri di input in modelli che applicano ulteriori processi per ottenere nuove informazioni.

Un approccio robusto per affrontare l'attività di valutazione del livello di incertezza dell'informazione proviene dalla teoria e dalle tecnologie della logica fuzzy; infatti, uno degli approcci più utili da adottare nei casi di indeterminazione sul valore dei dati consiste nell'applicazione della "fuzzy theory" allo scopo di determinare le informazioni risultanti utilizzando valori linguistici approssimati.

II.3 Il sistema informativo territoriale: La possibilità di coordinare ed orientare correttamente l'Ente di Ambito in merito alle politiche di gestione del territorio, deve necessariamente confrontarsi con l'organizzazione dell'informazione e la conoscenza dei fenomeni di trasformazione orientati dalle scelte programmatiche. Tale specificità trova oggi il forte sostegno delle tecnologie e metodologie informatiche legate ai Sistemi Informativi Geografici (SIG o GIS). L'informazione geografica assume sempre di più un ruolo centrale all'interno dei processi di *decision making*.

Un aspetto critico nella progettazione delle banche dati geografiche è costituito dalla loro intrinseca eterogeneità, amplificata dalla mancanza di precise normative in merito alla standardizzazione dell'informazione geografica. Tale eterogeneità dei dati riduce notevolmente la potenzialità d'uso dell'informazione geografica, vanificando, spesso, gli sforzi compiuti per la sua costruzione.

Pertanto, per la realizzazione di un database geografico distribuito è necessario disporre di informazioni omogenee; la soluzione di tale problema risiede nell'organizzazione e consolidamento di standard relativi ai "metadati".

Recentemente si è passati ad una forma più evoluta e complessa di organizzazione e diffusione dei dati tramite il Web internet, basato su strutture definite "Geo-clearinghouse", ovvero di un sistema informativo che assicuri un'adeguata condivisione di informazioni e talvolta di cooperazione nei processi di lavoro inerenti la gestione del territorio.

La *clearinghouse* assicurerà le cooperazioni attuali e future tra i molteplici enti coinvolti nell'amministrazione del territorio, attraverso la diffusione delle informazioni che avvengono su un sistema dedicato all'individuazione e scambio di dati territoriali, utilizzando i servizi attuali di trasporto e di interoperabilità di base (connessione). In particolare la piattaforma deve essere in grado di fornire informazioni su:

- disponibilità dell'informazione territoriale;
- utilizzabilità dell'informazione territoriale;
- accessibilità dell'informazione territoriale;
- trasferimento e struttura dell'informazione territoriale;
- attendibilità del dato territoriale;
- validità temporale del dato territoriale.

L'esistenza di una *clearinghouse* permette di rendere trasparente i criteri per la definizione di indicatori di efficacia e di efficienza dello stesso SIG, migliorare la fruizione del bene pubblico inteso come "diritto all'informazione e al servizio", inducendo una razionalizzazione della spesa e un netto miglioramento dei tempi per la formazione e la gestione delle banche dati territoriali.

Da quanto si è detto per permettere lo scambio di informazioni attraverso i metadati è necessario fare in modo da standardizzare la formulazione di questi ultimi, in modo da permettere l'interpretazione e la lettura dei dati. L'individuazione di uno standard esaustivo per le informazioni geografiche è un'operazione complessa, in virtù del fatto che un'informazione geografica è legata a svariati domini applicativi, ognuno dei quali possiede già standard di interpretazione, analisi e visualizzazione dell'informazione.

Gli elementi costituenti la *clearinghouse* provengono da fonti eterogenee, in formati eterogenei e, ragionevolmente, non risiederanno su un'unica macchina; inoltre essi devono essere resi disponibili ad altri enti o addirittura al pubblico: la presenza di un opportuno standard di definizione dei metadati associati agli archivi diventa quindi un elemento essenziale per la comprensione e la lettura dei dati stessi nelle fasi di manutenzione e interscambio.

Il percorso seguito dai flussi informativi alla clearinghouse coinvolge in un primo momento la clearinghouse intesa come insieme di componenti software ed Enti che facilitano il reperimento, la valutazione ed il download di dati spaziali georeferenziati. Il passaggio successivo coinvolge i metadati ovvero le informazioni sui dati distribuiti sui nodi della rete. Il contenuto informativo spaziale viene registrato nel database nella componente indicata con l'etichetta 'GEOdata'. Il framework costituisce invece lo scheletro contenente la logica dei dati spaziali.

III. PROTOCOLLO HARDWARE E SOFTWARE PER L'INTERCONNESSIONE DEI DIVERSI SITI.

Nel presente studio di fattibilità si è analizzata l'opportunità dell'utilizzo di un sistema di telecontrollo per il servizio idrico su scala d'ambito. In esso tale opportunità viene considerata in relazione all'ATO 4, considerando quindi le caratteristiche geo-morfologiche del territorio in esame. L'Ambito Territoriale può essere rappresentato e descritto attraverso l'utilizzo di un sistema multilivello clusterizzato.

Nel complesso il sistema si comporta come un erogatore di servizi e un generatore di azioni, realizzate tramite specifiche funzioni che vengono eseguite grazie all'impiego di una fissata infrastruttura tecnologica ed un software dedicato per il controllo e la gestione del sistema.

L'utilizzo di un sistema a più livelli risulta particolarmente interessante su scala d'Ambito, poiché permette:

- Al livello più alto il completo controllo ed il continuo monitoraggio del territorio e del sistema idrico integrato;
- Ai livelli più bassi, nella fattispecie comuni con più di 50000 abitanti o insiemi (cluster) di comuni, la più ampia autonomia gestionale nell'ambito, però, di un progetto comune e uniforme ed in relazione al territorio interessato.

Si può concludere, quindi, che l'ambiente multilivello clusterizzato per un sistema idrico integrato su scala d'Ambito dovrà operare come un sistema cellulare in cui, da un lato ad ogni unità competerà la più ampia autonomia decisionale nella gestione delle risorse, dall'altro non si perderà la necessaria visione complessiva su scala d'Ambito, al fine di ottimizzare il processo di acquisizione, distribuzione e monitoraggio delle risorse idriche. A tal proposito è, infatti, utile osservare che i vantaggi dell'applicazione di un tale sistema su scala d'Ambito sarebbero molteplici; in particolare:

- avere la possibilità di una completa gestione e controllo della distribuzione dei flussi idrici dalle sorgenti fino allo scarico e alla depurazione delle acque reflue per un numero considerevole di comuni;
- avere una infrastruttura tecnologica che permetta una attenta analisi dei flussi per la risoluzioni di problemi legati alle perdite e che sia, inoltre, capace di permettere al gestore un rapido intervento in caso di emergenze grazie all'utilizzo di software dedicati (sistemi di trigger e alert);
- offrire all'utenza la possibilità di nuovi servizi, quali ad esempio il telebollettamento;
- offrire ai comuni una erogazione differenziata in relazione al fabbisogno stagionale o giornaliero (si pensi ad esempio ai comuni sulle coste che in estate vedono raddoppiarsi l'utenza ed il relativo depauperamento della richiesta nei comini più interni).

Il sistema proposto si compone di sei livelli come riportato nella figura 4.

Il livello 1 (livello supervisor) è occupato dall'Ambito territoriale. Esso rappresenta un livello di supervisione a cui competono le funzioni di:

- sintesi le informazioni provenienti dai concentratori zonali (si noti che il livello due potrebbe rappresentare il cluster di piccoli comuni o i quartieri di uno grande);
- creare mappe decisionali sintetiche per la pianificazione e la configurazione dei controlli sui flussi a larga scala;

- controllare e supportare attraverso un definito protocollo di servizi l'intero ciclo delle acque;
- individuare e suggerire le politiche gestionali per l'ottimizzazione dell'infrastruttura territoriale attraverso analisi statistico-previsionali dei fabbisogni (simulazioni numeriche, analisi delle serie storiche e/o fuzzy o neural fuzzy process analysis).

Il livello 2 è rappresentato dai concentratori zonali e rappresenta una gestione distribuita del territorio in studio. In tale contesto, vengono collezionate in forma sintetica tutte le informazioni sulla completa gestione dei flussi inerenti ai diversi comuni coinvolti.

Il livello 3 è, invece, la tipica scala dei comuni; pertanto, in questo contesto vengono svolte tutte le tipiche funzioni di telecontrollo e telerilevamento attraverso:

- il controllo, la registrazione e l'analisi di tutte le informazioni provenienti dai diversi dispositivi dislocati sull'infrastruttura realizzate sul territorio comunale;
- il controllo dei dispositivi di azione lungo il ciclo idrico:
 1. automatico e real time nei punti strategici
 2. semiautomatico, con intervento di operatori specializzati e differito nei punti di bassa portata o con basso rischio ambientale per quanto concerne le acque reflue;
- il controllo e l'autodocumentazione dei consumi dell'utenza;
- il controllo e la gestione delle acque reflue nel rispetto dei limiti ambientali e secondo i prescritti controlli di qualità per le procedure adottate;
- il monitoraggio, le valutazioni e le ricostruzioni statistiche di tutto il sistema idrico su scala comunale (analisi parametrica per la gestione dinamica delle risorse).

Il livello 4 è costituito da un super-cluster operativo rappresentato dalle direttrici, dai nodi di scambio e dai decentratori di multiutenza. Si comprende, pertanto, che in questo contesto non vi è una reale gestione del telecontrollo (operazioni decisionali), quanto l'attuazione di un telecontrollo (operazioni di azione su sistemi elettromeccanici) da parte del sistema di gestione, cioè la retroazione in risposta a sollecitazioni provenienti dai livelli superiori e un telerilevamento attraverso: (a) misuratori di portata, (b) misuratori di pressione, (c) misuratori di livello. Quindi, proprio su questo livello dovrebbe essere installato tutto il sistema sensorio (o la maggior parte di esso) per:

- il controllo dei flussi;
- lo studio delle perdite e delle deficienze principali del sistema idrico;
- la rilevazione delle situazioni di alert e di emergenza;
- i controlli di qualità;
- l'attuazione della gestione comandata dai livelli superiori.

Il livello 5 potremmo considerarlo come la scala della multiutenza che in relazione alla ramificazione idrica potrebbe coprire aree nell'intervallo che va da pochi metri fino a qualche chilometro. In questo caso, il sottosistema in esame si configura come una unità di puro telerilevamento dei flussi, dei fabbisogni e dei consumi.

La sensoristica associata a tale livello sarà sicuramente non intelligente e limitata esclusivamente al monitoraggio delle informazioni elementari (raw data), quali:

- flussi punto-punto;
- rapporto portata/flusso attuale;
- analisi di eventuali perdite;
- etc.

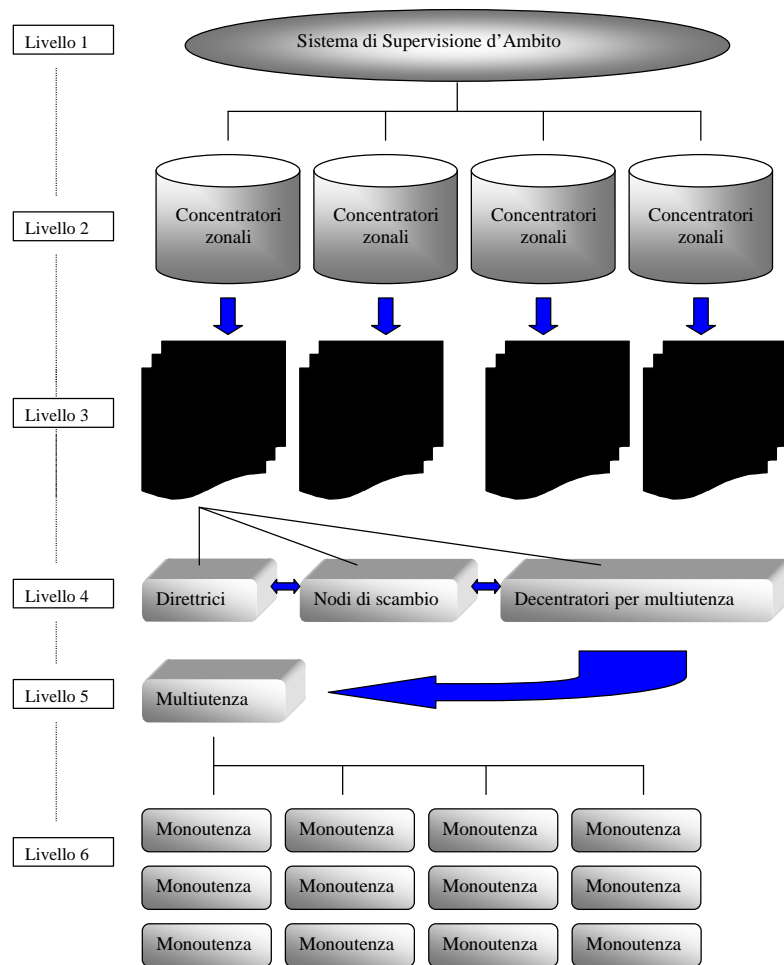


Fig.3: Diagramma strutturale del sistema multilivello clusterizzato

Viceversa, in questo contesto non è consigliabile alcun tipo di retroazione del sottosistema in relazione ad eventuali sollecitazioni provenienti dal livello 3 o superiori, poiché sarebbe troppo costoso (a questo livello si ha un'alta ramificazione per chilometroquadrato) e poco efficace (in caso di malfunzionamento è più opportuno l'intervento di un operatore specializzato o di una squadra rispetto all'utilizzo di un sistema automatico).

Infine, il livello 6 potrebbe essere riferito alla monoutenza. Esso avrebbe, come nel livello immediatamente superiore, solo funzione di telerilevamento per pochi dati essenziali. Tale livello, comunque, non deve essere sottovalutato, poiché potrebbe rappresentare un valore aggiunto proprio in relazione a utili prospettive quali il tele-bollettamento o l'automatica rilevazione di eventuali malfunzionamenti dell'impianto idrico locale.

In Fig.3 ogni box rappresenta un *cluster* con specifiche funzioni intese sia come operazionali che attuativi. Inoltre, mentre nei primi tre livelli troviamo una poderosa infrastruttura decisionale con un sistema principalmente di tipo software per il telecontrollo e il telerilevamento, nei tre livelli più bassi avremo un ampio sistema hardware, rappresentato dalla sensoristica necessaria al rilevamento e in alcuni casi alla retroazione rispetto a specifiche sollecitazioni del gestore o del sistema automatico decisionale.

Da un punto di vista delle funzioni associate ai diversi livelli abbiamo la seguente situazione che evidenzia il passaggio dall'attuazione alla gestione via via che si sale di livello.

Al livello 6 competono solo funzioni elementari, quali ad esempio la registrazione dei consumi o di qualche malfunzionamento.

Al livello 5 competono, principalmente, funzioni di monitoraggio per lo studio e l'analisi attraverso l'utilizzo di serie storiche della distribuzione delle risorse e delle eventuali perdite.

Il livello 4 ha le stesse funzioni del livello 5 con l'aggiunta di funzioni per l'attuazione di retroazioni per interventi automatici o con operatore in casi di emergenze o alert (chiusura di valvole, deflussi, reindirizzamenti, etc).

Al livello 3 competono le stesse funzioni del precedente con l'aggiunta di un GIS (Geographical Information System) locale e di uno SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

Il livello 2 è caratterizzato da funzioni di collezione dei dati rappresentati in forma sintetica, dal monitoraggio degli eventi. In altre parole, ad esso sono associate le tipiche funzioni di FEP (Front End Processing) per il controllo di ciascun gruppo d'unità di acquisizione dati e le funzioni di DMS (Distribution Management System).

Il livello 1, infine, dovrebbe avere le tipiche funzioni connesse alla supervisione di unità complesse, cioè: SCADA, GIS, analisi dei processi e degli eventi attraverso un sistema SOE (Sequence Of Events) e l'utilizzo di tipiche funzioni NMS (Network Management System) ed ERP (Enterprise Resource Planning).

Dal punto di vista dell'architettura l'ambiente dovrebbe configurarsi come un sistema aperto caratterizzato da:

- possibili espansioni differite sia hardware che software per ampliare, potenziare ed adattare le funzionalità dell'ambiente;
- possibili espansioni delle capacità di calcolo e di analisi sia del sistema centrale che di quelli periferici (espansione orizzontale dei cluster per ogni singolo livello);
- possibili realizzazioni di nuove applicazioni e funzioni.

Per la realizzazione progettuale di un tale ambiente sarebbe auspicabile la messa a punto di una metodologia per l'ottimizzazione della qualità dei servizi erogati, cioè l'utilizzo di un paradigma CSF (Critical Success Factor) che permetta di discriminare tra diverse soluzioni in relazione ad alcuni indici quali ad esempio:

- Parametro Infrastrutturale: $i = \text{infrastruttura prevista/ impianto realizzato};$
- Parametro funzionale: $f_a = \text{configurazione/funzione considerata};$
- Parametro EF (Emergence Factor): $e_b = \text{funzione considerata/tipo di emergenza};$

Il sistema di distribuzione delle informazioni potrebbe, infine, essere comandato con un Dispatcher che utilizzi le risorse di rete ed in alternativa la linea telefonica, commutata o dedicata, la rete GSM, o anche SMS (Short Message Service) a seconda del tipo di informazione o del supervisor da raggiungere.

I livelli 1-3, come precedentemente detto, si configurano come cluster di supervisione; pertanto in essi non troviamo la sensoristica, bensì le terminazione (rete di collegamento) che portano alle centrali di supervisione i segnali che tramite apparati SCADA permetteranno la gestione, l'analisi e la presentazione di tutte le informazioni provenienti dalla sensoristica di campo (field bus).

Nel livello 4 (così come riportato nello figura 4 abbiamo la maggior parte del sistema sensorio e di retroazione.

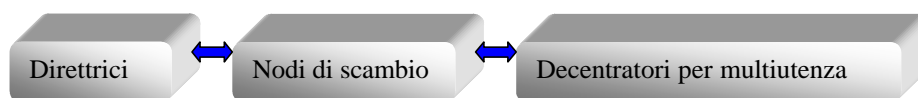


Fig.4: Livello 4 del sistema multilivello clusterizzato.

In particolare, dopo la captazione, si dovranno predisporre in prossimità dei serbatoi i sensori di parametri chimico-fisico, come sensori di livello, di PH, di conducibilità elettrica, di diluizione di agenti (ad esempio misuratori per l'immissione di cloro in acqua), etc.

Riguardo ai tre cluster operazionali – direttrici, nodi di scambio, decentratori di multiutenza – diventa fondamentale in tale contesto avere sia all'ingresso che all'uscita delle condotte principali

una sensoristica che misuri portata e pressione (eventualmente e solo in alcuni punti strategici misuratori di temperatura) della condotta al fine di gestire in modo ottimale i flussi idrici, le perdite e eventuali malfunzionamenti.

Nei tre cluster operazionali del livello 4 oltre alle operazioni di telemisure devono essere considerati anche le retroazioni automatiche o telegestite da operare sul sistema in caso di alert o malfunzionamento (apertura o chiusura totale o parziale di una condotta) attraverso l'utilizzo di elettrovalvole collegate al bus di campo (fieldbus) per il trasferimento delle informazioni di Input/Output ai supervisor dei livelli inferiori del sistema decisionale.

Il livello 5, riferito alla multiutenza, potrebbe essere considerato come le sub-unità di un quartiere ad alta densità di popolazione o area di qualche chilometro quadrato nel caso di bassa densità. Pertanto, in relazione alla ramificazione idrica potrebbe coprire aree nell'intervallo che va da pochi metri fino a qualche chilometro. In questo caso, il sottosistema in esame si configura come una unità di puro telerilevamento dei flussi, dei fabbisogni e dei consumi.

In questo caso si deve prevedere una sensoristica non intelligente e limitata esclusivamente al monitoraggio delle informazioni elementari, quali: flussi punto-punto, rapporto portata/flusso attuale, analisi di eventuali perdite: limitatamente, però, alle ramificazioni principali, al fine di non appesantire l'apparato sensorio ed i relativi costi di realizzazione.

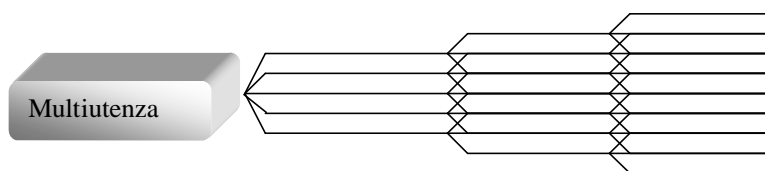


Fig.5: Livello 5 del sistema multilivello clusterizzato, con propagazione verso la monoutenza.

Sarà utile, pertanto, prevedere sensori di portata e misuratori di flusso non particolarmente accurati (limite di confidenza accettato 5-10%) connessi a field point per la trasmissione dell'informazione verso i livelli supervisor. Nel livello 5 così come nel precedente l'apparato sensorio unito allo studio delle serie storiche dovrebbe evidenziare le eventuali perdite rendendo possibile un recupero immediato e bene localizzato dell'infrastruttura idrica, nonché evidenziare eventuali irregolarità nell'acquisizione e nell'approvvigionamento delle risorse idriche non regolarmente registrate.

Infine, il livello 6 dovrà prevedere soltanto dei contatori (digital counter) al fine di permettere una telemisura dei consumi e il telebollettamento. Evidentemente dall'analisi delle serie storiche delle singole utenze e dalla telemisura sarà possibile evidenziare anche eventuali malfunzionamenti dell'impianto dell'utente, qualora si verificassero drastiche variazioni nei consumi dell'utenza.

Dall'analisi combinata della scelta di un sistema aperto e di un DMS al livello 2 rispetto ad un CMS (Central Managment System) al livello 1 senza l'esistenza dell'attuale livello 2 si comprende che per l'Ambito la soluzione da adottare mira a dare massima autonomia ed indipendenza ai comuni (livello 3), permettendo comunque una supervisione da parte dei livelli superiori. Tale supervisione risulta indispensabile e particolarmente efficace per la determinazione di una strategia sinergica per l'utilizzazione delle risorse nell'ottica di un sistema idrico integrato.

IV. STIMA DEI COSTI DI REALIZZAZIONE

Occorre premettere, alla stima dei costi che segue, che nella valutazione non sono stati tenuti in conto i costi delle opere civili quali ad esempio: espropri, realizzazione cavidotti, realizzazione dei siti di telecontrollo, valvole motorizzate, apparecchiature elettriche telecomandate, etc. ne è stato previsto il raggiungimento del singolo utente.

Per la valutazione dei costi d'impianto è necessario innanzitutto dividere l'infrastruttura di rete in:

- Dorsale o infrastruttura verticale
- Distribuzione /raccolta dell'informazione in zona cittadina (distr. Orizzontale).

Nel primo caso i parametri (indici di dimensionamento) portati in conto sono: i) Distanza dal centro di telecontrollo, ii) Capacità di trasporto, iii) Tipologia di rete, iv) Numero di nodi, v) Disponibilità dell'alimentazione.

Nel secondo caso di indici portati in conto sono: i) Estensione del comune, ii) Numero di abitanti, iii) Livello di urbanizzazione, iv) numero di pozzi, v) Numero di serbatoi, vi) Livello di automazione

A partire dalle considerazioni svolte sopra, i costi medi di realizzazione della infrastruttura di telecontrollo possono essere stimati nelle due componenti: costo della dorsale (C_1) e costo della distribuzione/raccolta dati C_1 .

$$C = C_1 + C_2 \quad (1)$$

I costi da ascrivere alla prima aliquota del costo totale possono essere valutati a partire dalla (2)

$$C_1 = C_{12} [C_{13} (C_{11} \cdot l + C_{14} \cdot n) + C_{15} \cdot A_{lim} \cdot n] \quad (2)$$

in cui:

C_{11} rappresenta il costo specifico a kilometro della infrastruttura (18 k€/km);

C_{12} è un indice che tiene conto della capacità di trasporto della rete (1-10);

C_{13} porta in conto la tipologia della rete (0.5-1);

C_{14} è il costo del nodo in cui sono presenti apparati attivi di commutazione (50 k€/a nodo);

C_{15} porta in conto la disponibilità di alimentazione nel nodo di commutazione (1-4, alim. 10 k€).

Per quanto riguarda i costi da ascrivere alla seconda aliquota, essi possono essere calcolati a partire dalla (3).

$$C_2 = C_{23} \cdot C_{26} \left(C_{21} \cdot \frac{Est.}{Abit} + C_{24} \cdot P + C_{25} \cdot S \right) \quad (3)$$

in cui:

C_{21} tiene conto della estensione e della popolazione del sito (30 k€/km²);

C_{23} tiene conto del tipo di urbanizzazione (1-1-8);

C_{24} rappresenta il costo dell'automazione della singola opera di presa o pozzo (P) (35 k€);

C_{25} rappresenta il costo dell'automazione del singolo serbatoio o bacino di accumulo (45 k€);

C_{26} porta in conto il livello di automazione desiderato (0.5-3).

Da quanto detto risulta evidente che è difficile definire il costo della realizzazione di un siffatto impianto di telecontrollo alla luce delle informazioni a disposizione, prima di una profonda indagine su orografia, percorsi, vincoli di progetto, etc..

Come metro di confronto può essere usato il costo finanziato, in parte dalla Comunità Europea in parte dallo Stato, di impianti di telecontrollo *stand-alone* con funzionalità similari in comuni di medie dimensioni, pari a circa 5 M€. Per l'estensione dell'Ente ciò significherebbe per i 144 comuni un costo non inferiore ai 250 M€, costo che in ogni caso è funzione del livello di dettaglio nell'automazione.

E' da tener conto inoltre che i costi di progettazione, in questi tipi di impianti, di norma sono notevolmente più alti rispetto a progettazioni similari in quanto sono richieste conoscenze specifiche in settori eterogenei che vanno dalla realizzazione di una rete locale, alla scelta dei sistemi di prelievo dell'informazione più idonei fino a conoscenze circa la realizzazione di reti geografiche ed a tecnologia avanzata, conoscenze purtroppo non facilmente reperibili sul mercato.

E' da far notare esplicitamente, inoltre, che un impianto di monitoraggio così realizzato non è utile solo per la gestione ottimizzata del sistema idrico, ma anche per il monitoraggio dell'inquinamento ambientale, da integrare all'interno della rete regionale, al monitoraggio e prevenzioni delle emergenze (alluvioni, incendi, frane, etc.) inserendo opportuni sensori (sistemi di sensing), integrandolo all'interno del sistema di sorveglianza satellitare, ed in tutte quelle situazioni in cui è necessario un controllo in tempo reale sul territorio.

V. CONCLUSIONI

In conclusione si può certamente dire che il monitoraggio ambientale e i sistemi di telecontrollo, telerilevamento e telegestione si configurano come risorse indispensabili e strumenti insostituibili per l'automazione e la gestione di reti di pubblica utilità. In molti dei servizi pubblici come i servizi di approvvigionamento e distribuzione delle risorse idriche, elettriche o del metano l'aver la possibilità di controllare e gestire da remoto la distribuzione delle risorse rappresenta un valore aggiunto consentendo di migliorarne la qualità e, più in generale, di elevare il livello qualitativo della vita dell'utenza e in particolare dei cittadini. Altro aspetto da considerare è come il telecontrollo e l'utilizzo delle tecnologie di rete connesse a Internet da un lato rappresentino un'opportunità di trasparenza per i cittadini e dall'altro si configurino come una forma di rapida diffusione dell'informazione in relazione ai servizi offerti.

Da queste poche considerazioni si comprende come le soluzioni di telecontrollo possano rappresentare per le amministrazioni pubbliche, gli organismi di controllo e le aziende una soluzione per l'adeguamento alle sempre più precise direttive comunitarie in tema di salvaguardia e valorizzazione delle risorse naturali nonché della qualità della vita e dei controlli di qualità utili per perseguire i fini suddetti.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- P.Arpaia, A.Baccigalupi, C.Landi: Systeme automatique de monitoring, controle et diagnostic on line d'une installation de protection cathodique pour reseaux des structures. International Conference on Corrosion, CEOCOR'89, 1989, Napoli.
- P. Arpaia, C. Landi: A Microcontroller-based System for Pipe-to-soil Potential Measurement. *Measurement & Control*, vol.23, n.8, 1990, pp. 237-241.
- Bardossy A., Disse M., Fuzzy rule-based models for infiltration, *Water Resources Research*, 29, 373-382, 1992.
- G. Betta, C. Landi: Stazione di misura esperta a capacità elaborativa distribuita. *L'ENERGIA ELETTRICA*, vol. n.11, 1990, pp.477-483.
- G.Bucci, C. Landi: "Numerical Method for Transit Time Measurement in Ultrasonic Sensor Applications", *IEEE Tran. on Instr. and Meas.*, Vol.46, N.6, Dec. 1997.
- G. Bucci, C. Landi: Low-cost VXI-Based Front-end for Industrial Measurement Applications. IEEE Instr. and Meas. Technology Conference, IMTC'99, Venice, 24-26 May, 1999.
- G. Bucci, C.Landi: Low-Cost VXI-Based Front-End For Distributed Measurement Applications. IEEE Instr. and Meas. Technology Conference, IMTC 2000, Baltimora, 1-4 May, 2000.
- G. Bucci, C. Landi, Low-cost Distributed Measurement Station for Power Quality Monitoring, Vienna, 2000.
- G. Bucci, M. Faccio, C. Landi : A Nonlinear A/D Converter for Smart Sensor Applications. IEEE Trans. on I&M, vol. 49, n.6, December 2000.
- G. Bucci, C. Landi, G. Ocera: Digital Wireless Data Communication Network for Distributed Measurement Applications: System Architecture and First Experimental Results. IMEKO TC4, Lisboa, 2001.
- G. Bucci, C. De Capua, C. Landi (1999). Industrial Measurements, in *Encyclopedia of Electronic Engineering*, NY, J. Wiley & sons. II ed.
- Citrini, D.: *Una formula semplice per il moto uniforme delle correnti fluide nella zona di Colebrook*. Energia Elettrica, 1962.
- Contro, R. and Franzetti, S.: *A new objective function for analyzing hidraulic pipe network in presence of different state of flow*. Meccanica, vol.I, 1983.
- Duckstein L., Parent E., System engineering of natural resources under changing physical condition: a framework for reliability and risk, *Natural Resources Management*, Kluwer Publisher, 1994.

- F. Di Martino, V. Loia, S. Sessa, "Fuzzy-SRA: A Tool for Reliability Analysis in Environmental and Territorial Fields" *Proceeding of World Meeting "Man and City. Towards a Human and Sustainable Development"*, September 6- 8 2000, Naples, Italy.
- Durrance J.C. : "Providing Access to Local Government Information: The Nature of Public Library Activity," *Government Information Quarterly*, Vol. 5, Number 2, p. 155-167, 1988.
- Dawes S., Eglene O.: "New Models of Collaboration: GIS Coordination in New York State." Center for Technology in Government, Albany, NY. 1998
- S.J.Fenves: *Network topological formulation of structural analysis*. Jour. ASCE, St.Div.,8, 1963.
- G.Iovane: Sistemi multilivello clusterizzati per il telecontrollo del servizio idrico integrato, Convegno su: "Telecontrollo ed automazione nella gestione del servizio idrico integrato", Baronissi (SA), Febbraio 2000.
- C. Landi, N. Rotondale, A. Russo Spena, G. Vacca: La gestione di reti di distribuzione dell'acqua: un esempio di applicazione. . Int, Conf – The automation for the Control and the Operation of Public Utility Networks – Cagliari, sett. 1999.
- C. Landi, E. Mastrangelo, G. Vacca, S. Villani. Realizzazione di una rete integrata per la gestione delle risorse idriche. Int, Conf – The automation for the Control and the Operation of Public Utility Networks – Cagliari, sett. 1999.
- C. Landi: Architettura di rete territoriale per la supervisione, automazione e telecontrollo del servizio idrico integrato. Convegno su: "Telecontrollo ed automazione nella gestione del servizio idrico integrato", Baronissi (SA), Febbraio 2000.
- C. Landi, N. Rotondale, A. Russo Spena, G. Vacca: Gestione reti idriche: un applicazione, Controllo di Processo, vol. X, n.1 Marzo, 2000.
- C. Landi, G. Vacca, G. Villani: Realizzazione di una rete integrata per la gestione delle risorse idriche. Int. Conf – The automation for the Control and the Operation of Public Utility Networks – Cagliari, 1999.
- V. Loia, A. Gisolfi, 'A Distributed Approach for Multiple Model Diagnosis of Physical Systems', *Information Sciences* , **99**(3-4):247-288, Luglio 1997.
- V. Loia and S. Sessa (Eds.), "Soft Computing Agents: New Trends for Designing Autonomous Systems", *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, Physica-Verlag, Springer, vol. 75, Giugno 2001.
- V. Loia, S. Sessa, A. Staiano, R. Tagliaferri, "Merging Fuzzy Logic, Neural Network and Genetic Computation in the Design of a Decision-Support System", *International Journal of Intelligent Systems* , vol. **5**, pp.575-594, 2000.
- V. Loia and S. Sessa (Eds.), "The Challenge of Soft Computing for Resolution of Large Scale Environment Problems", Special Issue of Int. Journal of Fuzzy Sets and Systems, Elsevier Publisher, in stampa..
- V. Loia, M. Nikraves, L. A. Zadeh, (Eds.) "Fuzzy Logic and Internet", Special Issue of Int. Journal of Soft Computing, Springer-Verlag, in stampa..
- Messina, U.: *Condizioni di regime in una rete di condotte conseguente ad un particolare processo d i moto vario*. Idrotecnica, n.3, 1974.
- Nahavandi, A.,N. and Catanzaro, G.V.: *Matrix method for analysis of hydraulic networks*. Proc.ASCE HY,1973.
- Russo Spena, A.: *Il problema di verifica di sistemi di distribuzione idrica ad uso potabile o irriguo*. Gior. Genio Civile, fasc.10,11,12, 1979.
- Russo Spena, A., Fumarola, G.: *Trasporto ed adsorbimento di soluti inquinanti in mezzi porosi*. Atti del Convegno: *Giornate di studio per la celebrazione del centenario della nascita di G.Ippolito*, Lacco Ameno 1991.
- F. Russo Spena, A.Vacca: A variational approach to the analisys of fluid distribution networks in steady-state of flow. Jour.Inf. & Opt. Sc.,vol.15, 1994.
- F.Russo Spena, A.Vacca: On the uniqueness of the solution to the direct nonlinear problem of phisical networks . Jour.Inf. & Opt. Sc.,vol.17, 1996.

- Russo Spena, A. Vacca: On the non linear problem of fluid distribution networks in quasi-steady condition of flow. *Il Nuovo Cimento*, vol.113B,N.10, 1998.
- Stephens. D.: "Managing the Web-enhanced Geographic Information Service," *Journal of Academic Librarianship*, Vol 23, Issue 6, p. 498-504, November 1997