



VII Meeting degli Utenti Italiani di GRASS

Genova 23, 24 Febbraio 2006

Un Content Manager System di dati geografici per sistemi GIS in rete basati su tecnologia OpenSource

Gianfranco Andreoli (*), Roberto Cantoni (**), Enrico Cavattoni(***),
Giuseppe Stefini(**), Giorgio Vassena (*)

(*) Università degli Studi di Brescia - Dipartimento di Ingegneria Civile,
Architettura, Territorio e Ambiente (DICATA)

(**) Topotek Geomatica s.r.l. – Sistemi Informativi Geografici e
tecnologie Web

(***) AGSM Verona S.p.a.

Riassunto

L'articolo si riferisce alla realizzazione di un contenitore manageriale per servizi di WebGIS Open Source: esso nasce dall'esigenza di poter permettere, attraverso semplici passaggi user friendly, la costruzione, l'aggiornamento e la consultazione di pagine Web contenenti dati cartografici.

Il contenitore manageriale favorisce una forte customizzazione del sito Web, inteso sia come interfaccia grafica, sia come tipologia di funzionalità: con il "GEO-CMS" possono essere attivati plug-in specifici per aree professionali (promozione turistica, gestione del rischio, analisi territoriali, gestione delle reti tecnologiche, ...).

L'aspetto innovativo di questo software sta quindi nella possibilità di acquistare un sistema web dedicato alla costruzione di servizi Web-GIS, sfruttando tecnologia completamente "free", con la possibilità di dedicare ad un personale non tecnico la fase di pubblicazione ed aggiornamento dei dati spaziali.

Per lo sviluppo del software sono stati utilizzati numerosi strumenti quali, Apache 2 (Server Web), il linguaggio PHP & PHP MapScript (Application Server), PostgreSQL (Server DataBase), PostGIS (estensione cartografica al Server DataBase), PROJ.4 (applicativo per la georeferenziazione dei dati cartografici), GDAL (interprete delle immagini raster), OGR (interprete delle immagini vettoriali). I target d'utenza per questo prodotto sono tutti quegli enti territoriali che necessitano una gestione organica della propria base cartografica, attraverso costi contenuti mediante l'utilizzo di software Open Source.

Abstract

This article proposes the realization of a managerial container for Open Source Web-GIS services: it begins from necessity for consenting, with simple passages, the construction, the updating and the consultation of Web pages containing cartographic data.

The content manager aids to a strong customization of Web sites, intended both as graphic interface and function typology: with GEO-CMS specific plug-in for professional areas (touristic promotion, risk management, territorial analysis, network analysis, ...) may be started. The innovative aspect of this software is the possibility to buy a Web system dedicated to the Web-GIS services construction, exploiting a completely free technology, with the possibility to dedicate the publication and updating stage of spatial data to a non technical staff. The main software used for the creation of this tool are: Apache 2 (Server Web), PHP & PHP MapScript (Application Server), PostgreSQL (Server DataBase), Postgis (Server DataBase cartographic extension), PROJ.4 (application for cartographic data georeferentiation), GDAL (raster images interpreter), OGR (vectorial images interpreter). The targets of this product are all those territorial corporations that require an organic management for their cartographic base, through low costs with using Open Source software.

Articolo

Nel periodo storico in cui viviamo, grazie all'innovazione tecnologica dovuta al forte sviluppo dei processi informatici, l'ingegnere che si occupa di topografia e cartografia ha a disposizione strumenti che aumentano l'efficacia e l'efficienza del suo lavoro.

Attraverso il lavoro di tesi svolto presso l'Università degli Studi di Brescia in collaborazione con la società bresciana Topotek Geomatica s.r.l. e grazie al supporto dell'AGSM s.p.a. di Verona, si è cercato di sperimentare la progettazione di un contenitore manageriale per fornire

servizi GIS Web-Oriented attraverso l'utilizzo di librerie e programmi offerti dal mondo Open Source.

Le innovazioni, rispetto allo stato attuale, che questo cammino di ricerca ha testato sono essenzialmente due: l'utilizzo di tecnologia Open Source e la customizzazione sia degli applicativi sia dei tools di amministrazione.

La scelta di utilizzare tecnologia Open Source è stata la risposta all'analisi di due problematiche principali.

In primo luogo, gli alti costi dei software proprietari rendono proibitivo l'utilizzo di servizi GIS, sia desktop che Web-Oriented, per piccole realtà territoriali (piccoli comuni o aziende) che intendono gestire le loro risorse mediante questa tecnologia. L'Open Source e la licenza GPL permettono, in molti casi, l'utilizzo di materiale informatico in maniera gratuita; i software installati per la sperimentazione del progetto hanno comportato costi di licenza pari a zero.

In secondo luogo la filosofia Open Source, ma soprattutto la General Public License, impongono l'obbligo di mantenere aperto il codice sorgente dell'applicativo distribuito: questo codice può essere quindi letto, migliorato o adeguato alle proprie esigenze. L'apertura del codice ha permesso la costruzione di nuove funzionalità per l'implementazione del contenitore manageriale.

Come già anticipato, l'altro termine di sperimentazione è la customizzazione: sono state studiate ed implementate routine che permettano la personalizzazione di set di funzioni a seconda dell'esigenza degli operatori territoriali che richiedano tale servizio; l'essenza del Content Manager non è solo quella di poter dare un servizio base standard per tutti i futuri utilizzatori, ma di trovare plug-in specifici per l'area professionale in cui l'utilizzatore opera (turismo, gestione territoriale, gestione del rischio, gestione del soccorso, gestione delle reti tecnologiche, ...).

La customizzazione sperimentata non si ferma allo studio di funzioni di analisi per plug-in specifici ma si spinge anche alla possibilità di dare al tecnico operatore tool per creare o modificare gli strati informativi, per aggiornare la cartografia mediante l'inserimento di nuovi dati e per gestire l'interfaccia grafica del sito Web.

Il Content Manager per servizi Web-GIS può essere quindi inquadrato come un generatore di siti Web che gestiscono dati cartografici attraverso la tecnologia GIS.

Il lavoro di sviluppo per un Content Manager Web-GIS è stato, in ultima analisi, testato mediante la pubblicazione e l'elaborazione di dati reali: la società AGSM Verona S.p.a. ha permesso l'utilizzo della propria banca dati relativa alla rete di teleriscaldamento del Comune di Verona.

Il Web-GIS non è una semplice estensione di un programma GIS-Desktop ma fa parte della grande categoria software Web Oriented. La rete locale e la rete delle reti (internet) sono diventate un'autostrada privilegiata per l'interscambio di informazioni tra milioni di postazioni sparse per il pianeta: attraverso un Browser Web (Netscape, Firefox, Opera, Konqueror, Internet Explorer, ...) è possibile accedere al World Wide Web (www) cioè al servizio di scambio dati internet più usato in assoluto.

Diffondere informazioni geografiche attraverso siti Web significa quindi non solo dare la possibilità di inserire, manipolare, elaborare ed analizzare dati georeferenziati in qualsiasi punto del terra tramite una connessione, ma anche raggiungere una vasta platea di utenti, anche non specializzati.

Costruire applicazioni users-friendly, che siano trasparenti e naturali per l'utente, necessita di un processo integrato di diverse operazioni: trovare il percorso da fare in macchina per raggiungere una determinata località ha come sfondo la chiamata del server Web al server GIS, esso esegue le interrogazioni SQL al DBMS, individua i necessari legami topologici, prepara le viste geografiche e trasferisce le informazioni al client, che attraverso un'elaborazione le visualizza localmente.

Un processo di tale complessità, che deve apparire all'utente semplice ed immediato, deve basarsi su un attento studio dell'architettura hardware e software, tenendo in considerazione svariati parametri come la performance dell'applicazione, la visualizzazione users-friendly, la possibilità di personalizzazione e, ovviamente, l'aspetto economico.

Il modello tecnologico a cui fa riferimento un GIS Web-Oriented può permettere l'eliminazione di molti software (presenti sul Desktop GIS) sul terminale dell'utilizzatore: non solo la visualizzazione delle immagini, le query spaziali, le selezioni agli attributi, il pan o gli zoom possono essere fatti con un semplice Browser ma anche il caricamento dei dati nel database, la loro modifica, la georeferenziazione o la loro gestione può essere svolta in maniera del tutto analoga. Predisponendo un sito web con pagine dinamiche e tecnologia server-side (per esempio attraverso il linguaggio PHP), è possibile far compiere tutte le operazioni che vogliamo (previa conoscenza di password specifiche) al Server Web, incluse quindi operazioni d'amministrazione: tutto questo, stando comodamente a casa o in ufficio, attraverso un semplice Browser. Il cuore del sistema al quale si è pensato di mirare doveva essere un ambiente di sviluppo, che consentisse la realizzazione di applicazioni Web per il caricamento, la visualizzazione e la consultazione di dati cartografici e non, provenienti da sistemi GIS, tale applicativo doveva inoltre essere Open Source. La scelta è ricaduta sul programma MapServer, rilasciato dall'Università del Minnesota: esso infatti

risponde all'esigenza di interazione con un server Web per la creazione delle carte, di dialogo con DBMS e di utilizzo di linguaggi di programmazione (sia lato server che client).

Il cuore doveva risiedere in un corpo snello, senza troppi fronzoli e fortemente programmabile: l'utilizzo della distribuzione Linux Slackware 10.1, definita dalle riviste specialistiche "la più amata dagli hacker" [Linux Magazine nr. 51], rende il sistema altamente stabile per poter offrire servizi Web.

La necessità di dover conservare i dati, spaziali e non, in un contenitore per poi renderli accessibili, analizzabili e processabili viene risolta mediante l'utilizzo di un DBMS che abbia la possibilità di gestire oggetti geografici: PostgreSQL è un potente sistema gestionale di DataBase Open Source che possiede un'estensione per gli oggetti GIS (PostGIS). A monte del Server Map deve risiedere un Server Web che riceva le richieste del client e mediante l'Application Server invii tali richieste ad un programma che le elabori: Apache 2 (Server Web) e PHP 5 (Application Server) formano una coppia leadership nel mondo delle applicazioni server Open Source.

A complemento di questi applicativi sono state installate librerie necessarie per il funzionamento del Web-GIS.

Il Content Manager per servizi Web-GIS progettato vuole essere un sistema che permetta la costruzione, attraverso semplici passaggi, di siti Web orientati alla gestione, alla visualizzazione, e generalmente all'utilizzo di dati GIS.

Il tecnico operatore deve avere quindi a disposizione dei tool specifici per implementare i dati posseduti e poterli rendere disponibili per l'effettuazione di operazioni da parte del visitatore del sito.

Basandosi sulle necessità sopra descritte sono stati creati quattro tool manageriali: il primo permette l'upload dei dati in una cartella posta nel Server Web, il secondo dà la facoltà, tramite un'interfaccia user friendly, di scrivere il file map, terzo dà la libertà all'operatore di modificare l'interfaccia grafica ed in generale il template del sito tramite la manipolazione di un file ".ini", l'ultimo dà l'accesso al Web-GIS vero e proprio.

L'accesso alla pagina principale è stata protetta mediante una password: questa permette di attivare solamente il file map, il file ".ini" e la cartella dati relativi al sito di cui l'username ne è proprietario o comunque degli utenti abilitati ad operare con queste informazioni.

Interpretando la necessità, da parte delle diverse strutture territoriali, di avere plug-in specifici al fine di operare con i propri dati, oltre ad aver attivato le classiche funzioni di un GIS Web-Oriented (zoom, pan, selezioni ad attributi, analisi spaziali, ...), sono state studiate funzioni per aree professionali (gestione delle reti) attivabili dietro richiesta.

Al fine di validare il Content Manager per servizi Web-GIS sono stati testati i dati gentilmente concessi da AGSM Verona S.p.a..

La struttura di AGSM Verona S.p.a. si occupa della gestione dell'energia elettrica, gas metano, ciclo integrato delle acque, illuminazione pubblica, teleriscaldamento, telecontrollo e cartografia; il test è stato effettuato analizzando e gestendo i dati relativi alla rete di teleriscaldamento.

Oltre alle informazioni strettamente legate a tale rete, sono stati forniti e studiati strati informativi relativi alla cartografia di base della città di Verona.

L'approccio adottato, quasi universalmente, per rappresentare e gestire una rete è quello basato su un set di nodi e di link; i nodi raffigurano dei punti nello spazio (eventualmente anche nel tempo) mentre i link, definiti archi qualora abbiano un verso di percorrenza, corrispondono a delle porzioni dell'infrastruttura della rete [Fischer, 2003].

La topologia di un modello arco-nodo viene garantita mediante la rappresentazione di ogni intersezione presente nella rete (intersezione tra archi) mediante un nodo: la consistenza topologica di una rete non può quindi esprimersi in maniera corretta se non viene inserito un nodo in corrispondenza di ogni incontro tra archi.

Il verso di percorrenza del flusso in un arco, come ripreso dalle "Specifiche tecniche per il rilievo e la mappatura georeferenziata delle reti tecnologiche" della Regione Lombardia, può essere definito come la sequenza dei punti definenti gli elementi lineari; in linea generale possono esserci altri metodi per la descrizione del verso del flusso: un esempio può essere la definizione del nodo di partenza dell'arco (colonna "FROM_NODE") e il nodo di arrivo (colonna "TO_NODE") [Fisher, 2003]. La presenza di una metodologia per la gestione del flusso comunque è necessaria per la consistenza topologica della rete.

La necessità di inserire un nodo in ogni intersezione, a garanzia della topologia, può creare problemi relativi all'eventuale presenza di incroci non reali fra archi (si pensi a soprapassaggi o sottopassaggi); questo problema può essere risolto aggiungendo una nuova struttura al modello, la "turn-table" [Fisher, 2003]: questa tabella, per ogni coppia di archi collegati tramite un nodo, definisce con una colonna se sia possibile o meno il passaggio del flusso (il valore del campo risulta quindi essere di tipo booleano).

Nella figura 1 viene riportato un semplice modello utilizzato per la gestione delle reti.

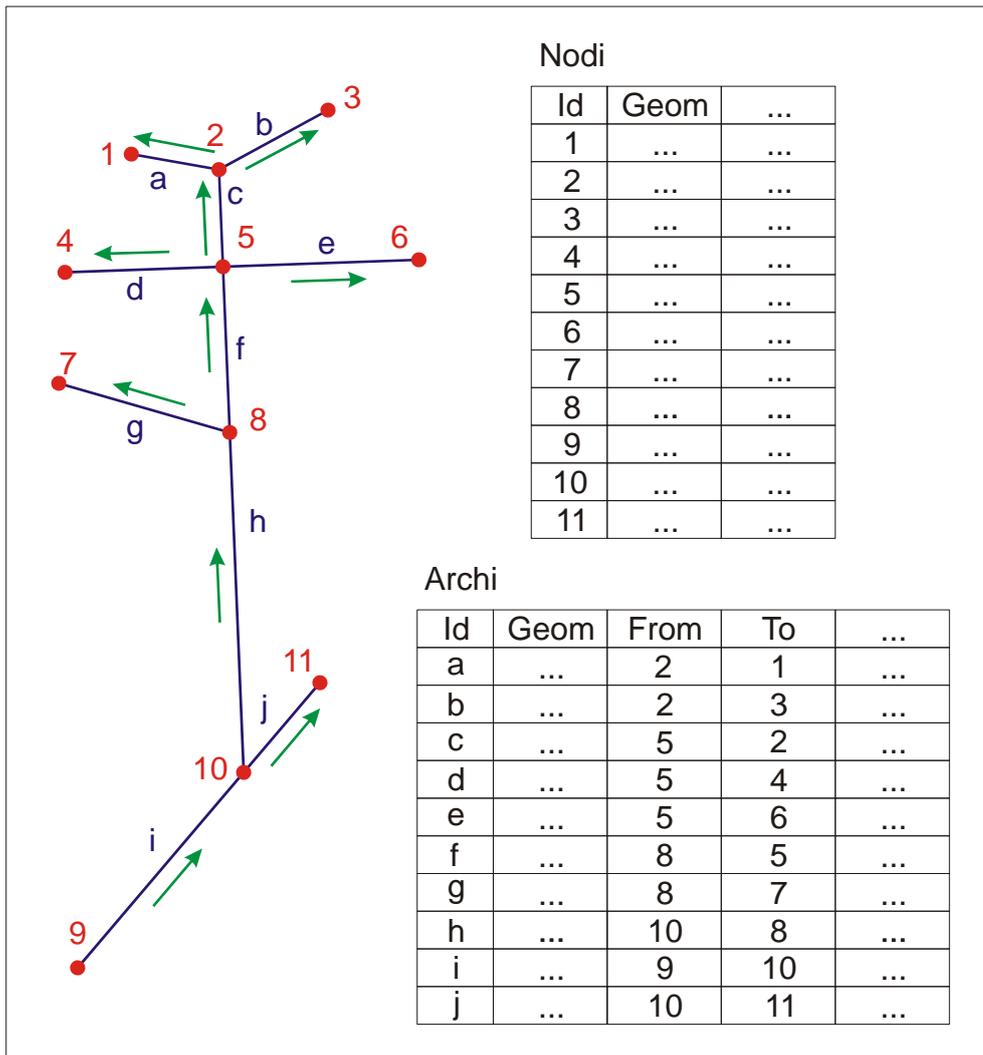


Figura 1: Modello arco-nodo.

Facendo riferimento agli standard per la costruzione di una rete, in questo articolo presentiamo lo studio della funzionalità che permette di individuare nella rete incoerenze topologiche; lo standard di riferimento nella modellazione delle reti è quello definito precedentemente: il modello è basato sulla struttura arco-nodo, il quale prevede la presenza di un nodo per ogni intersezione presente nella rete.

Questa funzionalità è stata sperimentata sullo strato informativo "rete_tlr_condotte" fornito da AGSM Verona S.p.a..

L'incongruenza topologica che può essere presente in una rete è la mancanza di un nodo in presenza di una intersezione; analizzando una singola condotta la verifica topologica può essere risolta distinguendo il problema in due tipi di incongruenze: nel primo caso (disegno a nella figura 2) si cercano nodi mancanti sulla condotta analizzata, nel caso pratico si verifica l'esistenza di archi che si allacciano alla condotta in esame nei punti interni di essa; nel secondo caso (disegno b nella figura

2) si verifica se le condotte che si trovano sugli estremi dell'arco sotto esame presentano un nodo oppure no.
 Nel disegno c della figura 2 viene presentato il caso di corretta congiunzione fra condotte.

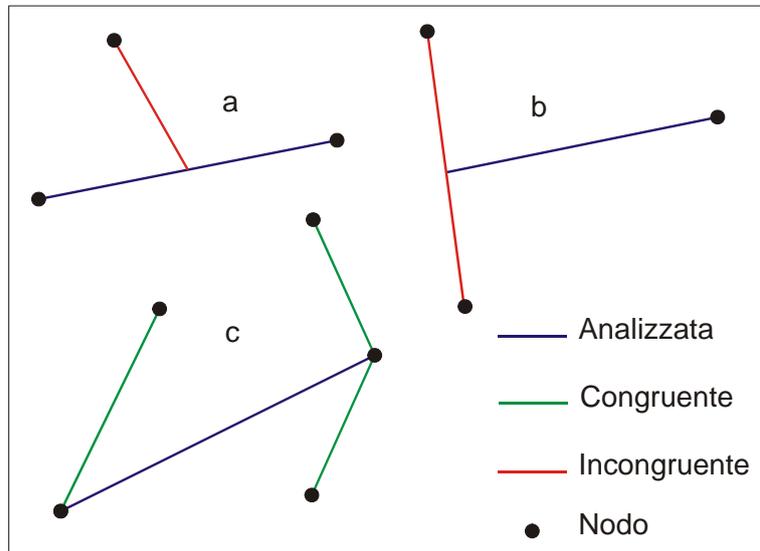


Figura 2: Casi di incongruenze topologiche.

[1]

Per l'individuazione dei tre casi sono state sviluppate tre funzioni. La prima funzione, "CondotteBuoneSuiLimiti()", individua tutte le condotte che si congiungono correttamente con l'arco analizzato. Per individuare le condotte rispettose della topologia, attraverso una query spaziale, si individuano tutte le geometrie che hanno come punto iniziale o finale il punto iniziale o finale della geometria analizzata; di seguito viene presentato il codice che supplisce a tale scopo.

```
function CondotteBuoneSuiLimiti ($conn, $ColonnaID, $Tabella,
    $ColonnaGeometrie, $gid, $Xpoint1, $Ypoint1, $Xpoint2, $Ypoint2)
{
    $query = "SELECT $ColonnaID FROM $Tabella WHERE
        Astext(StartPoint($ColonnaGeometrie)) = 'POINT($Xpoint1 $Ypoint1)'
    or
        Astext(EndPoint($ColonnaGeometrie)) = 'POINT($Xpoint1 $Ypoint1)'
    or
        Astext(StartPoint($ColonnaGeometrie)) = 'POINT($Xpoint2 $Ypoint2)'
    or
        Astext(EndPoint($ColonnaGeometrie)) = 'POINT($Xpoint2 $Ypoint2)'
    HAVING $ColonnaID != $gid";
```

```

$selezione = pg_query($conn,$query);
return $selezione;
}

```

La seconda funzione, “TrovaTouches()”, ha il compito di ricercare tutte le geometrie che toccano la condotta principale in una zona interna alle sue estremità (caso a della figura 2). Questa funzione utilizza l’operatore spaziale “Touches” di Postgis: tale operatore è descritto attraverso l’espressione sotto riportata [OGC, Simple Feature Specification for SQL, 1999]

$$a \text{ Touches } b \leftrightarrow (I(a) \cap I(b) = \emptyset) \wedge ((a \cap b) \neq \emptyset)$$

Alle condotte “toccate” da quella sotto analisi devono essere tolte quelle passanti per le sue estremità, questo viene effettuato praticando un buffer (con raggio pari a 0,00001 metri) al “EndPoint” e allo “StartPoint” della principale ed eliminando tutte le geometrie che intersecano tale buffer (tramite un overlay di layer). La funzione progettata per questa ricerca viene presentata nelle righe seguenti.

```

function TrovaTouches($conn, $ColonnaID, $Tabella, $ColonnaGeometrie, $gid,
                    $Xpoint1, $Ypoint1, $Xpoint2, $Ypoint2)
{
$query = "SELECT $ColonnaID FROM $Tabella WHERE
Touches
((SELECT $ColonnaGeometrie FROM $Tabella WHERE $ColonnaID=$gid),
($ColonnaGeometrie))
AND $ColonnaID not IN
(SELECT $ColonnaID FROM $Tabella WHERE Intersects
(($ColonnaGeometrie),
(SELECT Buffer
(PointFromText('POINT($Xpoint1 $Ypoint1)',26591)),
0.00001)) )
OR Intersects
(($ColonnaGeometrie),
(SELECT Buffer
(PointFromText('POINT($Xpoint2 $Ypoint2)',26591)),
0.00001))))
HAVING $ColonnaID != $gid ;";
$selezione = pg_query($conn,$query);
return $selezione;
}

```

```
}
```

L'ultima funzione, ovvero "CondotteCattiveSuiLimiti()", ha il compito di ricercare le condotte che toccano la geometria analizzata sui suoi limiti ma che non hanno un nodo nell'intersezione (caso b della figura 2); questa funzione è stata sviluppata creando dei buffer (raggio di 0,00001 metri) sui limiti, facendo un'intersezione tra overlay di layer e poi eliminando le geometrie che rispettano la condizione della funzione "CondotteBuoneSuiLimiti()". Di seguito viene presentata la funzione.

```
function CondotteCattiveSuiLimiti ($conn, $ColonnaID, $Tabella,
    $ColonnaGeometrie, $gid, $Xpoint1, $Ypoint1, $Xpoint2, $Ypoint2)
{
$query = "SELECT $ColonnaID FROM $Tabella WHERE
(Intersects
    (($ColonnaGeometrie),
    (SELECT Buffer
        ((PointFromText('POINT($Xpoint1 $Ypoint1)',26591)),
        0.00001)))
OR Intersects
    (($ColonnaGeometrie),
    (SELECT Buffer
        ((PointFromText('POINT($Xpoint2 $Ypoint2)',26591)),
        0.00001))))
AND Astext(StartPoint($ColonnaGeometrie)) != 'POINT($Xpoint1 $Ypoint1)'
AND Astext(EndPoint($ColonnaGeometrie)) != 'POINT($Xpoint1 $Ypoint1)'
AND Astext(StartPoint($ColonnaGeometrie)) != 'POINT($Xpoint2 $Ypoint2)'
AND Astext(EndPoint($ColonnaGeometrie)) != 'POINT($Xpoint2 $Ypoint2)'
HAVING $ColonnaID != $gid;";
$selezione = pg_query($conn,$query);
return $selezione;
}
```

Mediante le funzioni sopra definite vengono presentate, sia sottoforma di tabella sia sottoforma di mappa, il risultato dell'interrogazione. Nella figura 3 viene riportato questo risultato.

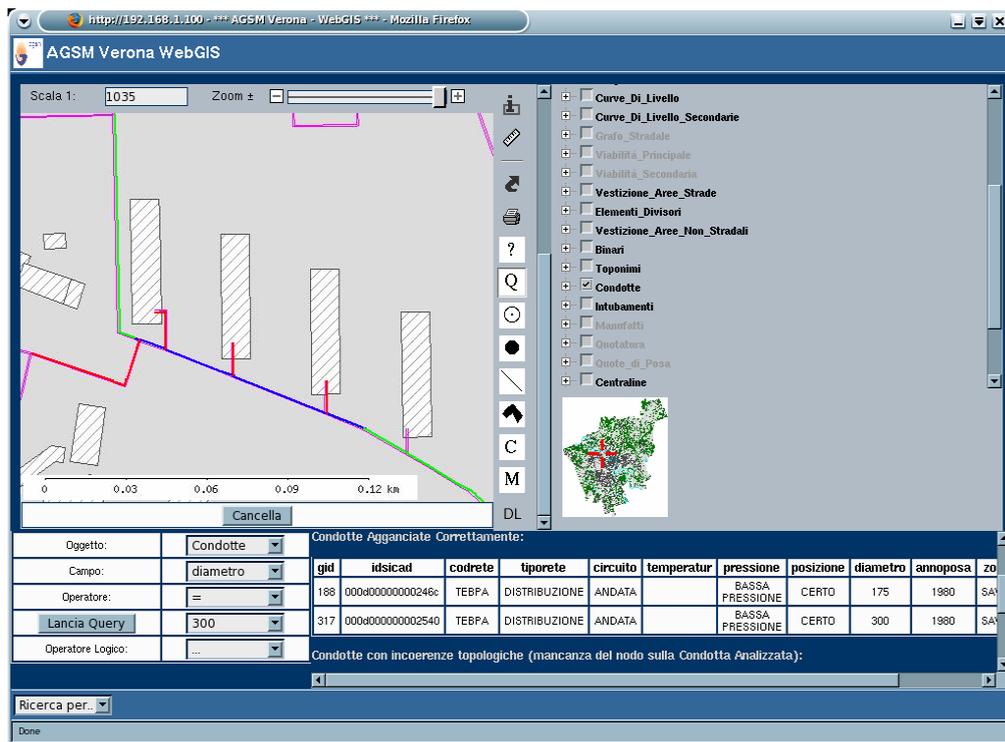


Figura 3: Risultato interrogazione.

Bibliografia

- [1] Aderson Carl, Blasby David, Tetsushi Iida, Jurka Kris, Cave-Ayland Mark, Schaber Markus, Mason Ralph, *Postgis manual*, URL: <http://postgis.refrations.net/>.
- [2] Bhattacharya Sandip, Deepak Thomas, De Mauro Pancrazio, Gundavaram Shishir, Mamone Mark, Shama Kapil e Whiting Simon, *Linux Fedora: guida professionale*, Apogeo, Milano, 2005.
- [3] Biallo Giovanni, *Introduzione ai sistemi informativi geografici*, MondoGIS, Roma, 2005.
- [4] Blomquist Evan, Hoag Melanie e LeBlanc Dee Ann, *Linux for dummies*, Apogeo, Milano, 2003.
- [5] Canducci Marco, *Php 5: la guida tascabile al linguaggio per costruire applicazioni server*, Apogeo, Lavis (TN), 2004.
- [6] Dolan Patrik H., *Validating your GIS with Network Analysis*, Stoner Associates, URL: <http://www.gisdevelopment.net/>, 1998.
- [7] Ebadi Hamid, Ghods Mohsen, Shad Roozbeh, *Evaluation of Route Finding Methods in GIS Application*, Dept of Geodesy and Geomatics,

- Eng. K. N. Toosi University of Technology, Tehran (Iran), URL: <http://www.gisdevelopment.net/>.
- [8] Evenden I. Gerald, *Cartographic Projection Procedure for UNIX Environment – A User’s Manual*, URL: <http://remotessensing.org/proj/>, 1995.
- [9] Egan David e Zikopoulos Paul, *Linux e i database*, Hops, Milano, 2000.
- [10] Festa Emanuela, Stefini Giuseppe, *Progettazione di un GIS in rete per la gestione e rappresentazione in cartografia dei dati territoriali georeferenziati mediante strumentazione GPS*, Tesi di Laurea in Ingegneria Civile, Università degli Studi di Brescia, Brescia, 2002.
- [11] ESRI, *ESRI Shapefile Technical Description*, Esri White Paper, 1998.
- [12] Fischer Manfred M., *Gis and Network Analysis*. In: *Handbook5 Transport Geography and Spatial System* (Hensher D., Button K., Haynes K., Stopher P.), Departement of Economic Geography & Geoinformatics, Vienna University of Economics and Business Administration, Vienna, 2003.
- [13] Giacomini Daniele, *Appunti di informatica libera*, URL: <http://a2swlibero.org/>, 2005.
- [14] Gutmans Andi, Bakken Stig, Rethans Derick, *PHP 5*, Apogeo, Milano, 2005.
- [15] Magni D., *Esercitazioni su MapServer*, Corso di Sistemi Informativi Territoriali (GIS), 2003.
- [16] Menegon Stefano, *Introduzione alle infrastrutture WebGIS open source*, MPASolution, URL: <http://www.mpasol.it>, Benevento, 2005.
- [17] Open Gis Consortium, Inc, *OpenGIS Simple Features Specification For SQL*, Open Gis Project Document, 1999.
- [18] Chenghua Wang Jack, *Oracle Spatial Network Data: An Oracle White Paper*, Oracle Corporation, Redwood Shores (U.S.A.), 2005.
- [19] Parker Tim e Siyan Karanjit S., *TCP/IP*, Apogeo, Milano, 2002.
- [20] Peng Zhong-Ren e Tsou Ming-Hsiang, *Internet GIS: distributed geographic information services for internet and wireless networks*, Wiley, Hoboken (New Jersey), 2003.
- [21] Piriou Geoges e Tripolini Marco, *Linux: la guida tascabile al sistema operativo*, Apogeo, Milano, 2004.

- [22] Regione Lombardia, *Specifiche tecniche per il rilievo e la mappatura georeferenziata delle reti tecnologiche*, Deliberazione Giunta Regionale 12 novembre 2004 – n.7/19357.
- [23] Roberts Fred S., *Some Application of Graph Theory*, Department of Mathematics and DIMACS, Rutgers University, 2000.
- [24] Rubini Saverio, *MySQL: la guida tascabile al tuo sistema di gestione di database*, Apogeo, Milano, 2004.
- [25] Rubino Saverio, *JavaScript: la guida tascabile al linguaggio di programmazione*, Apogeo, Milano, 2004.
- [26] Salimbene Alessandra, *Web editing*, Hoepli, Verdellino (BG), 2005.
- [27] Siangsuebchart SongKorn, Winyoopradist Soottipong, *Integration of 2 scales road network analysis*, <http://gis.esri.com/>.
- [28] Stefani Giuseppe, *Geografic Information System*, Gruppo di Topografia-Università degli Studi di Brescia, Brescia, 2003.
- [29] Teti Maria Adele (a cura di), *Sistemi informativi geografici. Manuale e casi studio città e territorio*, Francoangeli, Milano, 2004.
- [30] Tyler Mitchell, *Wep Mapping illustrated*, O'Reilly, Sebastopol (Canada), 2005.
- [31] Vassena Giorgio, Cantoni Roberto, Lanzi Carlo, *Appunti delle lezioni GPS*, documento didattico ad uso degli studenti di Topografia dell'Università degli Studi di Brescia.
- [32] Worsley John C., Drake Joshua D., *Manuale pratico di PostgreSQL*, Tecniche Nuove, 2002.