

Speciale GEOLOGIA 2007

Rivista bimestrale - anno 11 - Speciale 3/07 - Spec. in abb. postale 70% - Filiale di Roma

GEO MEDIA

1997 - 2007

La prima rivista italiana di geomatica e geografia intelligente

Geologia, geofisica e rilievi idrografici

- ⊙ **Applicazioni geo-informatiche per le Scienze della Terra**
- ⊙ **Web-Mapping e informazioni geologiche**
- ⊙ **L'IIM e l'evoluzione delle tecniche nel rilievo idrografico**
- ⊙ **GEOmedia intervista Pasquale De Santis di INGV**
- ⊙ **Codevintec tra geofisica e geomatica: trent'anni di supporto e ricerca**
- ⊙ **ARP: tecnologie innovative per la conoscenza del territorio**

Dall'analisi alla distribuzione delle informazioni Il progetto Galleria di Base del Brennero



di Rosalia Di Bella

Le tecniche di indagine geologica, geofisica e idrografica sono alla base di un progetto complesso come la Galleria di Base del Brennero. L'importanza di normalizzare le banche dei diversi terabyte di informazioni risiede principalmente nell'accessibilità a dati spazialmente collocati all'interno di un sistema GIS complesso, multimediale e multilingue, essenziale nelle fasi di progettazione così come in quelle di esecuzione dell'opera.

Nell'articolo che segue un eccezionale report sul complesso sistema adottato da BBT SE.

BBT SE è la società europea incaricata della progettazione e realizzazione del tunnel ferroviario di 56 km che collegherà l'Italia e l'Austria attraverso le Alpi, nell'ambito dell'asse europeo Berlino-Palermo (TEN1).

Il progetto dell'opera prevede la costruzione tra Innsbruck (Austria) e Fortezza (Italia) di due gallerie principali a singolo binario con interasse di circa 70 m, collegate tra loro ogni 333 m mediante cunicoli trasversali pedonali, oltre ad una galleria di servizio posta ad una quota inferiore di circa 10m.

Le fasi del progetto sono tre: durante la Fase I, iniziata nel 1999 e conclusasi nel 2002, sono state svolte attività di studio e di indagine finalizzate all'elaborazione del progetto preliminare.

Nella Fase II, attualmente in corso, viene elaborato il progetto definitivo e vengono proseguite le attività di indagine, inclusa la realizzazione della galleria di servizio a scopi esplorativi; a dicembre 2006 è iniziato lo scavo sul fronte italiano.

La Fase III infine consisterà con lo scavo delle due gallerie principali, e si concluderà con la messa in esercizio dell'opera, attualmente prevista per il 2022.



Figura 2: Sezione tipo delle gallerie e del cunicolo esplorativo (fonte: BBT SE)

L'importanza della geologia e dell'idrogeologia

Considerata la natura dell'opera, la geologia e l'idrogeologia giocano un ruolo di fondamentale importanza nell'ambito dell'intera progettazione e realizzazione della Galleria di Base del Brennero.

In termini di ricadute sugli aspetti progettuali dell'opera, in base alle informazioni acquisite tramite le indagini geologiche e idrogeologiche è possibile una stima più accurata delle modalità costruttive, dei tempi e dei rischi dell'opera, nonché una valutazione preventiva delle quantità e qualità dei materiali estratti che possono essere in vario modo riutilizzati o che viceversa sono destinati in via definitiva a essere depositati.

La funzione assunta dalle discipline geologiche e idrogeologiche risulta ancor più determinante se si considera



Figura 1: Il sistema della Galleria di Base del Brennero (fonte: BBT SE)

che la zona geografica in cui si sviluppa l'opera è quella delle Alpi, e precisamente la parte centrale delle Alpi Orientali, che costituisce il centro a volta della zona di collisione tra la placca europea e quella adriatica (africana) dell'orogene alpina.

Lungo il tracciato della Galleria di base del Brennero si trovano pertanto numerose zone di faglia e sistemi di discontinuità (ad esempio la zona della Finestra dei Tauri, l'attraversamento della linea Periadriatica, ecc.), indicativi della presenza di zone a rischio geotecnico e idrogeologico.

Le faglie interessano l'intera estensione del corridoio del tracciato e non possono essere evitate, ma grazie a una loro localizzazione e descrizione il più possibile precisa (ubicazione, orientamento, caratteristiche geotecniche e litologie degli ammassi rocciosi, ecc.) è possibile quantomeno localizzare i segmenti di faglia favorevoli o scadenti sia dal punto di vista geotecnico che idrogeologico, prevedere i problemi che si potrebbero verificare durante l'avanzamento dello scavo, e di conseguenza individuare le tecniche di scavo più opportune.

(afflussi temporanei) che durante l'esercizio (afflussi permanenti) per i possibili riflessi su un contesto territoriale molto sensibile. Le indagini eseguite consistono principalmente nel rilevamento, monitoraggio e successiva interpretazione dei dati di tutte le risorse idriche significative dal punto di vista idrogeologico e socio-economico.

I risultati e le interpretazioni di tutte le indagini geologiche, geotecniche e idrogeologiche hanno consentito, al termine della Fase I, di definire la progettazione di fattibilità della galleria

La Fase II delle indagini ha previsto un approfondimento delle indagini su cui basare la progettazione definitiva, perseguendo come obiettivi sia l'ottimizzazione del tracciato, sia il soddisfacimento delle esigenze di tutela ambientale e ingegneristiche-costruttive.

In particolare sono stati effettuati ulteriori sondaggi geognostici nelle zone che presentavano ancora elementi di incertezza per la definizione dei profili geologici.

Inoltre sono stati eseguiti rilievi geologico-strutturali e studi geologici integrativi per l'elaborazione di nuove cartografie alla scala 1:10.000 e 1:5.000 a partire dalla cartografia geologica prodotta in Fase I.

La rete delle risorse idriche monitorate a partire dal 2001 è stata ampliata con l'aggiunta di nuovi punti di misurazione, ed è stato perfezionato il modello idrogeologico concettuale per la Galleria di Base del Brennero mediante il quale è possibile ricavare una valutazione degli afflussi in galleria e una stima degli impatti dell'opera sulle risorse idriche di superficie.

Data repository e fruizione dei dati con il WebGIS

La considerevole mole di dati prodotta attraverso le indagini geologiche e idrogeologiche nelle diverse fasi di progetto, insieme a quelli provenienti dalle numerose altre tipologie di indagini (monitoraggi ambientali, rilievi topografici, ecc.) e agli ulteriori dati che saranno prodotti nelle successive fasi di costruzione e di esercizio, ha reso obbligata la scelta di gestire l'intero asset informativo attraverso un sistema WebGIS.

Il sistema deve essere al tempo stesso modulare e scalabile, così da permettere a ciascun comparto o soggetto coinvolto nella realizzazione del progetto di accedere alle informazioni geografiche di sua competenza in modo veloce ed efficace.

Attraverso il WebGIS ciascun settore o soggetto coinvolto nella realizzazione del progetto della Galleria di base del Brennero può: accedere alle informazioni in modo trasparente, veloce ed efficace, anche da remoto; integrare dati, anche molto specialistici, nella cartografia di base del territorio in cui si sviluppa il progetto; condividere le informazioni georeferenziate di propria competenza con gli altri settori, senza creare duplicazioni o ridondanze.

Figura 4: Profilo geologico lungo l'asse del tracciato (fonte: BBT SE)

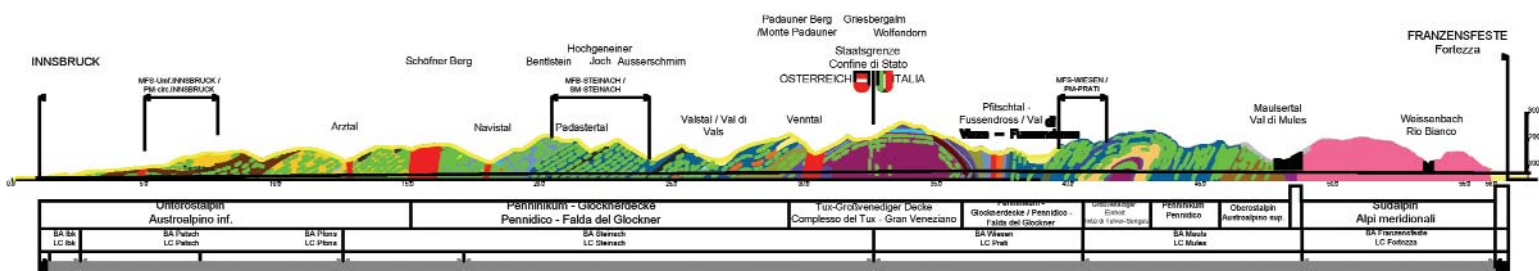


Figura 3: Diagramma tettonico-strutturale 3D della regione del Brennero (fonte: Fügenschuh et al. 1997)

Durante la fase di progettazione preliminare (Fase I), l'intera area di progetto è stata oggetto di sistematiche attività di rilevamento geologico-tettonico, sulla scorta delle quali sono state elaborate carte geologiche e strutturali del territorio a diverse scale di dettaglio, integrando diverse aree con sondaggi profondi e prove in foro. A complemento dei sondaggi, sono state eseguite diverse campagne di rilievo con profili sismici a rifrazione integrate da misure gravimetriche.

In aggiunta alle indagini geologiche, è stata avviata una vasta campagna di rilevamento idrogeologico con l'obiettivo di accertare le caratteristiche idrogeologiche dell'ammasso roccioso. Ciò perché la problematica delle acque sotterranee riveste un'importanza determinante sia in fase di realizzazione

Il *data repository* avviene su un server dati dedicato ed è gestito attraverso un DBMS Oracle connesso attraverso ESRI ArcSDE all'Internet Map Server ESRI ArcIMS, il quale a sua volta risiede su un apposito server web.

Per le funzionalità WebGIS e la pubblicazione dei servizi cartografici viene utilizzato il framework *mapaccel WebGIS-Database Framework* sviluppato dalla Territorium Online di Bolzano.

Attraverso *mapaccel* il servizio cartografico viene strutturato in modo gerarchico sotto forma di moduli WebGIS che ereditano le caratteristiche comuni dall'applicazione di base (WebGIS Interno).

I moduli Web GIS coincidono con le diverse aree applicative come *geologia*, *risorse idriche*, *topografia*, *ecc.* e consentono l'accesso ai dati tematici sulla base dei privilegi di accesso che abilitano contestualmente il *client (browser)* a funzioni specialistiche.

La navigazione all'interno del WebGIS, sia per quanto riguarda l'interfaccia che per i contenuti, è possibile in tre lingue: tedesco, italiano e inglese.

Il modulo WebGIS Geologia

Il modulo *WebGIS Geologia* consente la visualizzazione e la consultazione di tutti i dati geologici prodotti fino ad oggi come risultato delle indagini effettuate durante le fasi di progetto preliminare e definitivo.

Secondo le modalità tipiche di un GIS, l'utente seleziona la lista dei *layer* (legenda) di interesse e la relativa mappa viene generata.

Per comodità di consultazione, dal momento che si tratta complessivamente di un numero molto elevato di dati appartenenti ad indagini diverse, i *layer* sono stati organizzati nella legenda secondo una struttura gerarchica costituita da raggruppamenti, ciascuno dei quali coincide in linea di principio con una specifica tipologia di indagine geologica, ovvero: "*Cartografia geologica*", "*Sondaggi*", "*Idrogeologia*", "*Geofisica*", "*Geotecnica*", oltre ad un ulteriore raggruppamento denominato "*Geologia Fase I*", che comprende tutti i dati di archivio provenienti dalla prima fase di indagine, necessari per eventuali analisi cronologiche dei dati.

Ciascun raggruppamento contiene una lista di *layer* che rappresenta l'elenco delle voci per esso disponibili (generalmente una lista di dati o di cartografie) come è evidenziato in figura 5.

L'interfaccia WebGIS mostra all'utente i *layer* fino ad un grado gerarchico coincidente con le indagini nelle rispettive tipologie di dati disponibili. Tuttavia, dal punto di vista strettamente tecnico, esiste un ulteriore livello di disaggregazione, nascosto all'utente, che coincide con l'archiviazione *fisica* dei *layer* nella banca dati.

Con riferimento a quanto detto prima, una carta geologica in formato GIS è composta tipicamente da un insieme più o meno cospicuo di *layer* poligonali (ad esempio le litologie), lineari (le faglie) e puntuali (gli affioramenti). Affinchè tutti i *layer* che compongono la carta geologica si comportino *all'unisono*, è necessario che essi siano aggregati su un unico livello *logico*.

Utilizzando questo meccanismo di rappresentazione dei dati, è stato possibile mettere a disposizione degli utenti in modo

semplice ed intuitivo una grande quantità di dati, suddivisi per tipologie di indagine.

Oltre alle carte geologiche appena citate, sono infatti disponibili per ogni raggruppamento rispettivamente i seguenti dati:

- ◆ *Sondaggi*: dati dei sondaggi realizzati durante le Fasi 1 e 2
- ◆ *Idrogeologia*: carta idrogeologica di superficie 1:25.000, carta idrogeologica di superficie 1:10.000, profili idrogeologici (relativi al tracciato principale, alle gallerie di accesso, ecc.), dati del monitoraggio delle risorse idriche.
- ◆ *Geofisica*: dati riguardanti la gravimetria, la sismica a rifrazione e la sismica a riflessione.
- ◆ *Geotecnica*: dati ricavati dalle prove di laboratorio, profili geotecnici.
- ◆ "*Geologia Fase I*": carta geologica di superficie 1:25.000, profili geologici 1:25.000, carta geologica a quota galleria 1:25.000 e 1:50.000, profilo longitudinale 1:25.000, carta tettonica 1:25.000 e 1:10.000, carta idrologica 1:25.000, carta delle isolinee 1:50.000, carta idrogeologica 1:10.000, carta geotecnica a quota galleria 1:50.000, profilo geotecnico longitudinale 1:25.000.



Figura 5: Esempio di struttura gerarchica dei layer nel modulo WebGIS Geologia (fonte: BBT SE)

Per quanto riguarda i dati relativi ai sondaggi è stata utilizzata una banca dati originariamente disponibile in formato Access con i dati originali relativi alle perforazioni e contenente la registrazione di tutti i dati tecnici di ciascun carotaggio in base alla profondità (ad esempio la descrizione stratigrafica della carota, la presenza di acqua nel foro, le caratteristiche

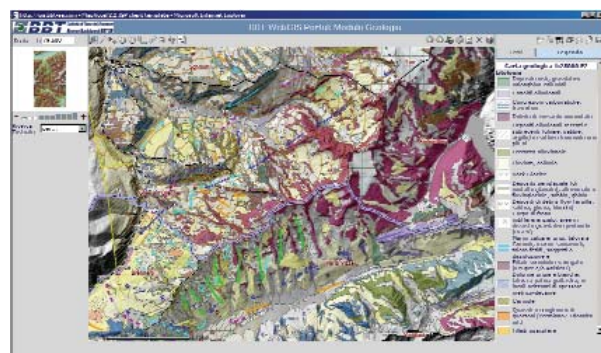


Figura 6: Un esempio di cartografia geologica visualizzata tramite il modulo WebGIS Geologia (fonte: BBT SE)

Tecniche impiegate e tipologie di indagini

Sondaggi e prove in foro

Complessivamente, fino ad oggi sono stati realizzati più di 40 sondaggi profondi (> 100m) e oltre 140 sondaggi corti (< 100m). Alcuni sondaggi profondi sono risultati intorno ai 1300 m.

Fatta talvolta eccezione per i depositi quaternari, tutti i sondaggi sono stati realizzati principalmente a carotaggio continuo e si possono classificare in sondaggi verticali e sondaggi inclinati (di un angolo più o meno ampio rispetto all'orizzontale); parte dei sondaggi hanno previsto prove geofisiche e test idraulici in foro, e precisamente: determinazione del diametro foro, rilievi con sonda video; prove di sismica in foro, misure di conducibilità e temperatura sulle acque presenti nel cavo e misure di flusso idrico con micromulinello. Sono stati inoltre condotti test di permeabilità Lugeon e misure del carico idraulico con dispositivi a doppio otturatore; in corrispondenza degli intervalli testati sono stati talora prelevati campioni di acqua per le analisi dei parametri geochimici. Inoltre grazie ai piezometri posizionati nel cavo sarà possibile monitorare anche in futuro le oscillazioni della falda acquifera.



Figura 8 - Esempio di carote estratte da un sondaggio (fonte: BBT SE)

Monitoraggi delle risorse idriche

I monitoraggi chimico-fisici nell'area di progetto sono consistiti nelle misure su circa 500 sorgenti, 90 torrenti e 50 piezometri, a partire dal 2001 ad oggi. Il monitoraggio fisico è consistito nella misura sistematica della portata, temperatura e conducibilità mentre quello chimico ha previsto in generale l'analisi della concentrazione dei cationi maggiori (Ca, Mg, K, Na) e degli anioni maggiori (HCO₃, SO₄ e Cl).

Sono state condotte indagini idrologico-isotopiche, per l'analisi degli isotopi stabili dell'ossigeno 18 (18O), dello zolfo 34 (34S), del trizio radiattivo (3H) e del radon radioattivo (222Rn).

Il monitoraggio fisico è servito a ricavare informazioni sulle caratteristiche idrodinamiche degli acquiferi che ospitano i sistemi di flusso delle varie sorgenti. Grazie all'analisi dei dati è stato possibile definire in termini qualitativi il tipo di risposta dei sistemi di flusso rispetto alle precipitazioni e alle

condizioni ambientali e di stimare la profondità raggiunta dai sistemi di flusso, dai fenomeni di mixing ecc. Le indagini idrogeochimiche hanno invece consentito di tracciare l'evoluzione delle acque sotterranee, e di risalire alle litologie con cui esse hanno interagito.

Infine le indagini isotopiche hanno fornito informazioni aggiuntive come quote di infiltrazione delle acque meteoriche, durate medie di permanenza e determinazione della radioattività dell'immediato sottosuolo (acquifero).

L'insieme dei risultati di tutte le indagini fisiche, geochemiche e isotopiche e dei sondaggi ha consentito l'elaborazione del modello idrogeologico concettuale, al fine di suddividere l'ammasso roccioso in complessi idrogeologici dalle caratteristiche di permeabilità per fratturazione e/o carsismo differenti, nonché di individuare i vari sistemi di flusso idrogeologico di tipo più o meno profondo che potrebbero interagire col tracciato della galleria.

Indagini geofisiche

A supporto delle attività di progettazione della galleria è stata analizzata con l'ausilio di varie linee sismiche la struttura geologica delle valli alpine maggiormente interessate dall'opera.

Le indagini geofisiche sono state effettuate mediante integrazione di due differenti metodologie, che sono consistite in: *prospezione sismica a riflessione ad alta risoluzione e prospezione sismica a rifrazione con elaborazione tomografica delle velocità delle onde di compressione ed analisi dell'attenuazione del segnale sismico*.

Inoltre si è fatto ricorso alle indagini gravimetriche. Per l'interpretazione dei risultati della gravimetria è stata elaborata la carta delle anomalie di Bouguer. Mediante una carta di sintesi dell'interpretazione complessiva sono stati illustrati gli assi gravimetrici positivi e negativi ed i gradienti gravimetrici significativi. Questi ultimi hanno evidenziato limiti di densità che, a causa della loro direzione preferenziale, possono essere interpretati come strutture tettoniche.

Prove di laboratorio

La caratterizzazione dei parametri geomeccanici e geotecnici è stata fatta sulla scorta di prove geomeccaniche e geotecniche su campioni di rocce e di terreni estratti dai sondaggi o prelevati direttamente sul campo.

Le prove di laboratorio svolte principalmente sulle rocce sono le seguenti: individuazione delle caratteristiche fisiche (porosità, densità, umidità, velocità di propagazione delle onde), compressione monoassiale e triassiale su provini, prove a carico concentrato (Point Load Test), prove di trazione indiretta, prove di resistenza al taglio, prove di abrasività. Diverse altre per i terreni, come prove di compressione monoassiale e triassiale, prove di taglio diretto, prove di permeabilità, analisi granulometriche.

Inoltre sono state effettuate prove geologiche di laboratorio, quali ad esempio prove di rigonfiamento, prove di diffrazione a raggi X ed esami petrografici di sezioni sottili.

meccaniche (TCR, SCR, RQD, parametri Barton, ...), i rivestimenti adottati, i diametri delle aste utilizzate, ecc.

Grazie ad un'accurata conversione dei dati in formato Oracle, gli stessi sono disponibili attraverso il modulo WebGIS Geologia, che permette l'interrogazione della banca dati secondo una logica geospaziale, ovvero con selezione del sondaggio di interesse sulla mappa.

Per semplificare la consultazione di questa enorme mole di dati mediante il WebGIS Geologia, si è cercato di rappresentare questi ultimi secondo modalità grafiche e simbologie tali da renderli per quanto possibile uguali alle corrispettive versioni cartacee e/o digitali con cui gli utenti hanno maggiore familiarità d'uso.

Il modulo WebGIS Monitoraggio delle risorse idriche

Il modulo *Monitoraggio delle risorse idriche* è dedicato ai dati idrologici ed idrogeologici disponibili per l'intera area di indagine. Con questo modulo si accede alle cartografie idrogeologiche realizzate alle varie scale di dettaglio, alle posizioni dei luoghi e dei punti monitorati (sorgenti, torrenti, pozzi, stazioni idrografiche del Servizio Idrografico Provinciale, ecc.), nonché a tutti i dati connessi al monitoraggio dei suddetti punti.

Grazie a funzioni WebGIS sviluppate appositamente per questo modulo, sono inoltre possibili interrogazioni ed analisi avanzate dei dati.

Ad esempio, selezionando un punto di misurazione e imputando un arco temporale (data inizio/data fine) vengono filtrati i dati di portata, temperatura, conducibilità (in mancanza di scelta dell'arco temporale vengono visualizzati tutti i dati), e vengono calcolati in tempo reale i valori medi e massimi, dando inoltre la possibilità di rappresentarli su un grafico di andamento temporale e salvarli su un file PDF, stamparli direttamente o semplicemente esportare gli elenchi in formato Excel.

Qualora fossero presenti altre informazioni associate al punto selezionato, ad esempio in formato immagine (fotografie di sopralluogo, ecc.) o PDF (schede di analisi di laboratorio, ecc.), esse saranno accessibili sotto forma di link diretto al file, che verrà aperto in una nuova finestra.

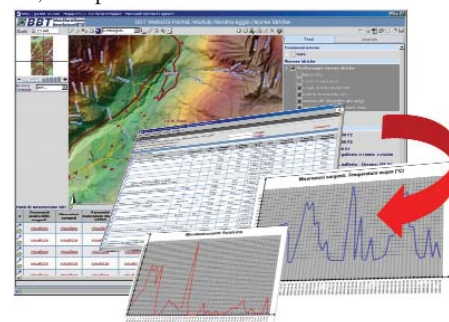


Figura 7: Elaborazioni statistiche in tempo reale dei dati idrogeologici (fonte: BBT SE)

La gestione avanzata dei punti di misurazione (creazione, cancellazione o modifica di un nuovo punto di misurazione, modifica dei suoi attributi, import di nuovi file dati, ecc.) avviene invece mediante un'applicazione desktop basata sul framework gestionale DB-GIS *Dbsnap* di Territorium Online e integrata con la componente WebGIS.

Dal momento che le attività di monitoraggio delle risorse idriche proseguiranno per tutta la durata dei lavori di scavo, e che quindi in futuro ci si attende l'arrivo di un'altrettanto grande quantità di dati da gestire tramite WebGIS, è in corso di realizzazione un'applicazione che consenta ai soggetti che eseguono i monitoraggi per conto di BBT di inserire direttamente i dati rilevanti dei punti di misurazione in modo standardizzato e decentralizzato all'interno della banca dati di BBT SE, ossia direttamente dalla propria postazione di lavoro.

Anche per questa applicazione, mediante l'impiego del framework *Dbsnap*, si può mirare ad un impiego web based della procedura, garantendo così sia un aggiornamento in tempo quasi reale, che una performance generale del sistema molto elevata. Le applicazioni web based di aggiornamento possono essere impiegate direttamente sul campo attraverso sistemi mobili che impiegano *carrier* di tipo UMTS/GPRS.

Conclusioni e ringraziamenti

I dati geologici e idrogeologici oggi a disposizione del progetto della Galleria di Base del Brennero sono il risultato di anni di indagini e di rilievi svolti con le metodologie scientifiche più consolidate in queste discipline.

Grazie alle caratteristiche del framework *mapacel*

(Territorium Online), adottato da BBT SE come piattaforma tecnologica per lo sviluppo del proprio sistema WebGIS, è stato possibile costruire appositi moduli tematici per una consultazione agevole e immediata di questi risultati via web utilizzando le logiche spaziali tipiche di un GIS.

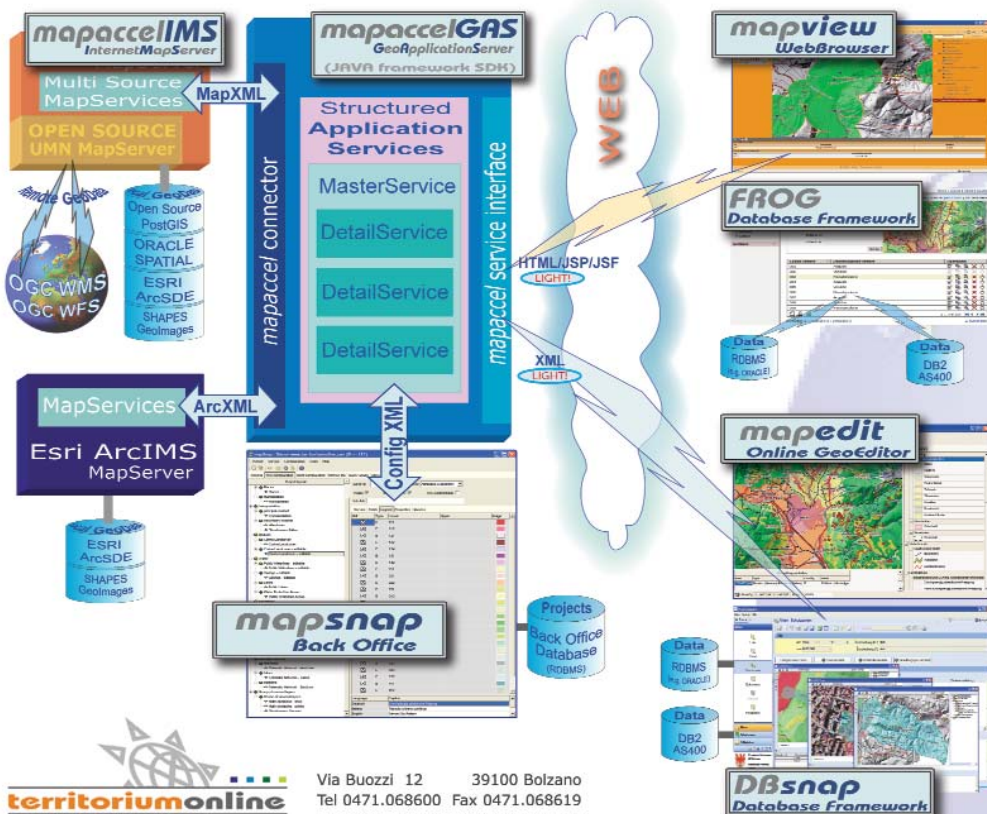
La grande varietà e abbondanza dei dati che sono alla base dei moduli *Geologia* e *Gestione delle risorse idriche* ha comportato un notevole sforzo da parte di tutti coloro che sono stati coinvolti in questo progetto, a partire dai consulenti GIS di BBT che hanno analizzato i requisiti di sistema, per passare ai soggetti incaricati della preparazione dei dati e, in ultimo, ai responsabili dell'inserimento e della configurazione dei dati nel WebGIS e dell'implementazione delle funzionalità specifiche. Fondamentale è stato inoltre il supporto scientifico e l'affiancamento dei tecnici di BBT, in particolare dei geologi e degli idrogeologi.

Le caratteristiche di flessibilità di *mapacel* e del framework gestionale integrato DB-GIS *Dbsnap* consentiranno di poter sviluppare ulteriormente l'attuale architettura database e WebGIS per tener conto delle future esigenze di raccolta e gestione dei nuovi dati connesse alla realizzazione dei lavori di scavo.

Autore

ROSALIA DI BELLA
rosalia.dibella@bbt-se.com
Galleria di Base del Brennero-Brenner Basistunnel BBT SE

mapacel 2.3 WebGIS-Database Framework



mapacel è un framework per la creazione di servizi WebGIS che sfociano in applicazioni leggere per la rete e potenti per l'utente.

I servizi applicativi esposti dal *mapacel* GeoApplicationServer (*mapacel* GAS) possono utilizzare in entrata il mapserver *mapacel* IMS di Territorium Online (implementazione dell' Open Source UMN MapServer) oppure il mapserver ArcIMS di ESRI.

mapacel è una soluzione completa che porta rapidamente ai risultati attesi. Essa consente di costruire complessi servizi applicativi web per la rappresentazione dei geodati, la loro consultazione interattiva ed il loro editing online avanzato eliminando ampiamente la necessità di programmare.

Il motore applicativo di *mapacel* è rappresentato dal GeoApplicationServer (*mapacel* GAS) costituito da un framework Object Oriented estensibile composto da oltre 200 classi Java. Esso pilota il mapserver (ArcIMS o *mapacel* IMS) e fornisce l'intelligenza dei servizi applicativi esposti nel web. *mapacel* possiede con ciò una architettura orientata a servizi (SOA Service Oriented Architecture).

Il server applicativo viene affiancato da un potente sistema di back office (*mapsnap*) che permette di configurare in modo visuale ed intuitivo le caratteristiche del servizio applicativo e al termine, con un semplice click, di generarlo.