



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Tecnologie dei servizi Web per l'accesso alle informazioni sulla tutela delle acque

Ing. Antonella Chirichiello

Tutor: Dr. Attilio Colagrossi

Data	Firma Stagista	Firma Tutor	Firma Responsabile Servizio
15/12/2009	<i>Antonella Chirichiello</i>		

Abstract

Lo stage di formazione ambientale è stato svolto all'interno del Dipartimento per la tutela delle acque interne e marine dell'*Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca sulla Tutela dell'Ambiente* (ISPRA). Il presente lavoro rappresenta una sintesi delle conoscenze acquisite durante lo stage sulle tematiche ambientali e sulla cartografia, e delle considerazioni scaturite dallo studio e analisi delle problematiche tecniche legate all'evoluzione del *Sistema Informativo per la Tutela delle Acque in Italia* (SINTAI) nell'ambito del *progetto per il nodo nazionale WISE*. In particolare, ci siamo occupati di discutere come possa essere reingegnerizzato il SINTAI utilizzando un'architettura applicativa basata su servizi Web che renda disponibili dati cartografici e analitici provenienti da sorgenti differenti, e che consenta l'interoperabilità dei sistemi cartografici con altri sistemi e applicazioni non dedicate alla cartografia. L'idea di base è fornire l'accesso ai dati cartografici e analitici esclusivamente attraverso i servizi Web. Possiamo pensare a questi servizi come a delle operazioni atomiche che possono essere eseguite nel sistema. Attraverso la composizione dei servizi elementari, siamo in grado di fornire delle nuove funzionalità che realizzano delle modalità più complesse di estrazione ed elaborazione dei dati. La definizione dei servizi Web per l'accesso a dati di tipo analitico non presenta grosse difficoltà da un punto di vista tecnico, in quanto si tratta di interagire con sistemi per la gestione di basi di dati relazionali. Al contrario, la definizione dei servizi Web per l'accesso a dati di tipo cartografico comporta la risoluzione delle questioni tecniche legate all'integrazione e l'interoperabilità tra i sistemi cartografici e i sistemi non cartografici in un ambiente distribuito quale Internet.

Ringraziamenti

Ringraziamo sentitamente il Dott. Colagrossi in qualità di Tutor nell'ambito dello stage all'ISPRA, per averci consentito di approfondire alcune tematiche ambientali e di acquisire nuove competenze e capacità. In particolare, ringraziamo il Dott. Colagrossi per la sua disponibilità, comprensione e supporto. Rivolghiamo, inoltre, un sincero grazie all'Ing. Lorenzo Felli nonché all'intero gruppo del Dipartimento per la tutela delle acque interne e marine dell'ISPRA, per la loro gentilezza e professionalità. Ed infine, un ringraziamento speciale va alla Dott.ssa Luciana Bordoni per averci segnalato le opportunità di stage formativi all'ISPRA.

Indice

Abstract	3
Ringraziamenti	5
Indice	9
Lista delle figure	12
1 Introduzione	1
1.1 Organizzazione	6
I Contesto e tecnologia di riferimento	9
2 Gestione dei dati sulla qualità delle acque interne e marine	11
2.1 Normativa di riferimento	11
2.2 Soggetti istituzionali competenti	16
2.3 Strumenti: pianificazione e reportistica	18
3 Sistema Informativo Nazionale per la Tutela delle Acque Italiane (SINTAI)	21
3.1 Dati	22
3.2 Utenti	23
3.3 Servizi	25

4	Sistemi Informativi Geografici (GIS)	27
4.1	Cos'è un GIS	28
4.2	Come lavora un GIS	29
4.3	Dati	31
4.3.1	Modello dei dati di riferimento	31
4.3.2	Attributi descrittivi	32
4.3.3	Codifica dei dati geografici	32
4.4	Funzioni di un GIS	33
4.5	Software GIS	36
4.5.1	ArcGIS	37
5	WebGIS	43
5.1	Cos'è un WebGIS	44
5.2	Come lavora un WebGIS	45
5.3	Funzioni di un WebGIS (lato client)	46
5.4	Software WebGIS (lato server)	46
5.5	Servizi Web geospaziali (specifica OGC)	47
5.5.1	Web Map Service (WMS)	48
5.5.2	Web Feature Service (WFS)	49
6	Servizi Web (specifica W3C)	51
6.1	Cos'è un servizio Web	52
6.2	Architettura di Riferimento	53
6.3	Linguaggi dei servizi Web	54
6.3.1	Web Service Description Language (WSDL)	54
6.3.2	Simple Object Access Protocol (SOAP)	56
6.3.3	Universal Description Discovery and Integration (UDDI)	57
6.3.4	Web Service Business Process Execution Language (WS-BPEL)	58
6.4	Uso dei servizi Web	60
6.4.1	Localizzazione	60
6.4.2	Invocazione	62

6.4.3	Composizione	62
II	Studio ed Analisi	65
7	Evoluzione di SINTAI	67
7.1	Trasformazione	68
7.2	Uso dei servizi Web per l'accesso alle informazioni sulle acque . .	70
8	Servizi Web per i GIS	73
8.1	Vantaggi	74
8.2	Verso la specifica W3C dei servizi GIS	75
8.2.1	WMS	77
8.2.2	WFS	81
8.3	Osservazioni	84
III	Conclusioni	85
9	Sommario e sviluppi futuri	87
	Bibliografia	89

Elenco delle figure

3.1	Area Pubblica nel SINTAI	24
3.2	Area Riservata nel SINTAI	24
4.1	I tre approcci di un GIS	28
4.2	Componenti di un GIS	30
4.3	Layer tematici in un GIS	30
4.4	Differenza tra dato vettoriale e dato raster	32
4.5	Overlay	35
4.6	Framework ArcGIS	38
4.7	ArcCatalog ambiente unificato per la visualizzazione dei dati, dei geodatabase, delle mappe, dei globi e dei servizi GIS	40
4.8	ArcMap applicazione principale di ArcGIS per le attività di cartografia, editing, analisi e interrogazione dei dati	41
4.9	ArcToolbox collezione di funzioni di geoprocessing organizzate in una serie di toolbox	41
6.1	Architettura di Riferimento per i servizi Web	53
6.2	Linguaggi standard per i servizi Web	55
6.3	Registro UDDI	61
6.4	Invocazione di un servizio Web mediante SOAP	62
6.5	Orchestrazione dei servizi in BPEL	64
7.1	Uso dei servizi Web per accedere alle informazioni sulle acque	70

8.1	Servizi GIS basati sulla specifica OGC: invocazione tramite HTTP GET/POST	76
8.2	Servizi GIS basati sulla specifica W3C: invocazione tramite scam- bio di messaggio SOAP	78

Capitolo 1

Introduzione

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca sulla Tutela dell'Ambiente (ISPRA) [1] è il soggetto istituzionale responsabile in Italia della gestione su scala nazionale delle informazioni sulla qualità delle acque interne e marine. In particolare, si occupa di coordinare e mettere in opera tutte le attività volte a raccogliere, archiviare, elaborare e diffondere le informazioni relative alla tutela delle acque dall'inquinamento. Tali attività sono codificate in specifiche norme sia a livello europeo che nazionale [2, 3, 4, 5, 6, 7], e si sviluppano attraverso linee organizzative ed operative ben definite [8, 9]. A tale scopo, l'ISPRA ha progettato, realizzato e messo in opera il Sistema Informativo per la Tutela delle Acque in Italia (SINTAI), attraverso il quale è possibile accedere a tutti i dati prodotti dal sistema delle Agenzie regionali e provinciali per la protezione dell'ambiente e trasmessi all'ISPRA dalle Regioni e Province autonome, e ad una serie di servizi per la gestione dei flussi di dati per la reportistica sulla tutela delle acque. Le informazioni disponibili sono sia numeriche, sia cartografiche. I servizi consentono ai soggetti istituzionali (Regioni, Province autonome, ecc.) non solo di accedere ai dati ma anche di modificarli. Il SINTAI è accessibile via Web su Internet all'indirizzo <http://www.sintai.sinanet.apat.it/>.

La tecnologia alla base del SINTAI è quella dei WebGIS, estensione al Web dei sistemi informativi geografici (in inglese *Geographic Information System*, abbreviato in *GIS*). Un GIS è un sistema informativo computerizzato che permette

l'acquisizione, la registrazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione di informazioni derivanti da dati geografici. I WebGIS consentono l'interazione attraverso Internet con la cartografia e con i dati ad essa associati. L'accesso ai dati geografici distribuiti in rete avviene attraverso i servizi Web geospaziali (in lingua inglese Geospatial Web Services, anche detti servizi GIS), quali ad esempio Web Map Service (WMS) e Web Feature Service (WFS). Un WMS produce dinamicamente mappe a partire da informazioni geografiche provenienti da uno o più GIS distribuiti in rete. Generalmente le mappe prodotte da un servizio WMS sono rese in un formato immagine (PNG, GIF, JPEG, ecc.). Un WFS consente di ottenere dinamicamente informazioni relative alle caratteristiche dei dati geografici. Le informazioni sono codificate in Geography Markup Language (GML), linguaggio basato su XML considerato lo standard per la rappresentazione ed il trasporto di informazioni relative a dati geografici. Le operazioni di WMS e WFS vengono invocate usando un client che supporti il protocollo Hypertext Transfer Protocol (HTTP)¹, in forma di Uniform Resource Locator (URL)². Il contenuto della URL dipende dalle operazioni richieste.

L'ISPRA ha da tempo avviato il *progetto per il nodo nazionale WISE*, con il quale si intende sviluppare un sistema informativo integrato, Internet-based, di applicazioni software e processi che creano un'infrastruttura di supporto per la predisposizione e l'invio del reporting nazionale verso il *Water Information System for Europe* (WISE). Il WISE è un sistema che consente l'accesso condiviso alle informazioni relative alla gestione delle acque in Europa. Allo stato attuale, il SINTAI, pur garantendo performance di sufficiente livello, non consente nè di gestire, nè di introdurre agevolmente, caratteristiche di cooperazione applicativa e di scalabilità istituzionale delle informazioni. Le informazioni vengono composte secondo viste logiche, conformemente a quanto la normativa richiede, utilizzando applicazioni sviluppate caso per caso. Questa caratteristica, unita al fatto che la trasmissione dati nel sistema avviene mediante una procedura semi-automatica

¹L'Hypertext Transfer Protocol (HTTP) è il protocollo principale per la trasmissione di informazioni sul Web.

²Un Uniform Resource Locator (URL) è una sequenza di caratteri che identifica univocamente l'indirizzo di una risorsa in Internet.

(che richiede dunque l'intervento umano), e che la politica di accesso ai dati si basa su un insieme di credenziali minimo (username e password), rendono necessario un intervento di trasformazione del sistema. In tal senso, l'ISPRA si sta muovendo su due fronti. Da un lato è impegnato nell'implementazione di nuovi standard di trasmissione dei dati, conformi alle direttive europee. Dall'altro sta sperimentando nuovi modelli architetturali per consentire l'accesso e l'integrazione dei dati in un ambiente distribuito.

Il presente lavoro, frutto di un'esperienza di stage tenutosi presso il Dipartimento per la tutela delle acque interne e marine dell'ISPRA, rappresenta una sintesi delle conoscenze acquisite sulle tematiche ambientali e sulla cartografia, e delle considerazioni scaturite dallo studio e analisi delle problematiche tecniche legate all'evoluzione del SINTAI nell'ambito del progetto per il nodo nazionale WISE. In particolare, ci siamo occupati di discutere come possa essere reingegnerizzato il SINTAI utilizzando un'architettura applicativa basata sui servizi Web che renda disponibili dati cartografici e analitici provenienti da sorgenti differenti, e che consenta l'interoperabilità dei sistemi cartografici con altri sistemi e applicazioni non dedicate alla cartografia.

Osserviamo che, in un ambiente distribuito quale Internet, in cui convivono sistemi diversi, la questione dell'interoperabilità e dell'integrazione dei sistemi cartografici e non cartografici, è di una certa importanza e di estrema attualità. La difficoltà più rilevante è quella di riuscire ad individuare le informazioni geografiche disponibili, capire come fare ad accedervi, ma soprattutto riuscire ad integrare i servizi GIS ed i dati provenienti dai vari fornitori. Infatti, i dati geografici solitamente provengono da sorgenti che usano programmi, strutture e modelli diversi da quelli richiesti dai fornitori dei servizi GIS. Per facilitare l'interoperabilità, l'Open Geospatial Consortium (OGC) [10], il consorzio che definisce i linguaggi per i GIS, ha fornito le specifiche tecniche di un'interfaccia standard per i servizi GIS. In queste specifiche sono descritte le operazioni fornite dai servizi, i parametri d'ingresso, il modo in cui le operazioni possono essere invocate, e altri dettagli. Esistono varie implementazioni commerciali e open source dei servizi GIS. Ogni implementazione è conforme a quanto specificato dall'OGC.

Tra le varie modalità tecnologiche utilizzate per consentire l'integrazione dei sistemi GIS in Internet, quella dei servizi Web rappresenta la più promettente. Il World Wide Web Consortium (W3C) [11], organismo che specifica i protocolli ed i linguaggi per il Web, definisce un servizio Web come un'applicazione software che può essere usata in Internet mediante lo scambio di messaggi XML. Ogni servizio offre un'interfaccia software nella quale vengono specificate le operazioni fornite dal servizio stesso. Utilizzando questa interfaccia, altri sistemi possono interagire con il servizio attivando le operazioni in essa descritte tramite lo scambio di appositi messaggi. Caratteristica fondamentale dei servizi Web è la possibilità di utilizzarli in combinazione l'uno con l'altro (indipendentemente da chi li fornisce e da dove vengono resi disponibili) per formare servizi complessi in grado di soddisfare nuovi requisiti. I servizi Web permettono l'interoperabilità e l'integrazione di diverse applicazioni software su diverse piattaforme hardware. Ciò grazie all'uso di un insieme di linguaggi standard basati su XML: Simple Object Access Protocol (SOAP) [12], Web Service Description Language (WSDL) [13, 14, 15, 16], Universal Description Discovery and Integration (UDDI)[17], Web Service Business Process Execution Language (WS-BPEL) [18, 19]. SOAP è un protocollo di comunicazione che consente il trasferimento di dati codificati in XML attraverso lo scambio di messaggi. WSDL è un linguaggio che consente di descrivere l'interfaccia di un servizio Web (le operazioni fornite dal servizio, il formato dei messaggi e dei dati che vengono scambiati durante l'interazione con il servizio stesso, il modo in cui il servizio viene invocato). UDDI definisce un meccanismo per individuare dinamicamente i servizi Web in rete. WS-BPEL è un linguaggio che consente l'*orchestrazione* dei servizi Web. Con il termine *orchestrazione* si intende un tipo di interazione tra i servizi in cui esiste un processo che ha il controllo e che coordina gli altri servizi (detti *partner*) durante l'interazione. Tale processo è composto da una serie di attività che devono essere eseguite secondo uno schema ben preciso (il protocollo di interazione tra i servizi). A sua volta, questo processo è visto come un nuovo servizio Web tramite la sua interfaccia WSDL, e potrà essere composto con altri servizi consentendo così la creazione di un nuovo ulteriore processo.

In realtà, i servizi GIS, così come definiti dall'OGC, non sono equivalenti ai servizi Web del W3C. Infatti, un servizio Web è dotato di un'interfaccia descritta in WSDL e viene invocato attraverso lo scambio di messaggi SOAP. Per poter definire un'architettura basata sui servizi Web che consenta l'interoperabilità dei sistemi GIS con altri sistemi e applicazioni non dedicate alla cartografia, e l'integrazione di dati cartografici e analitici provenienti da sorgenti differenti, è necessario dunque modellare i servizi GIS come servizi W3C. In particolare, è necessario fornire una specifica WSDL dell'interfaccia standard dei servizi GIS. La traduzione in WSDL dell'interfaccia richiede che venga effettuato uno studio a livello di XML Schema³ in quanto il problema primario da risolvere è come riuscire a tradurre le operazioni HTTP GET e POST (usate per invocare i servizi GIS) in scambi di messaggi SOAP. Una volta ottenuta la specifica WSDL dei servizi GIS, questi potranno essere composti con altri servizi Web presenti in rete (visti tramite la loro interfaccia WSDL) al fine di combinare dati cartografici e analitici sulla base della richiesta effettuata da un client.

L'idea alla base del progetto di reingegnerizzazione dell'architettura del SINTAI, è quella di fornire l'accesso ai dati cartografici e analitici esclusivamente attraverso i Web services. Possiamo pensare a questi servizi come a delle operazioni atomiche che possono essere eseguite nel sistema. La composizione dei servizi viene fatta mediante orchestrazione, usando ad esempio il linguaggio WS-BPEL (in breve BPEL). In particolare, viene definito un processo orchestratore che stabilisce come debbano essere combinati i dati analitici e cartografici reperiti dai sottostanti sistemi, al fine di soddisfare la richiesta del client. Attraverso la composizione dei servizi elementari, siamo in grado di fornire delle nuove funzionalità che realizzano delle modalità più complesse di estrazione e analisi dei dati. A ciascuna nuova funzionalità corrisponderà un processo BPEL, che stabilisce la procedura di accesso e composizione delle informazioni estratte dal sistema. I processi BPEL sono esposti in rete attraverso la loro interfaccia WSDL, e sono visti come servizi Web. Essi a loro volta possono assumere il ruolo di

³L'XML Schema è un linguaggio basato su XML che consente di descrivere il contenuto di un file XML.

servizi partner nella definizione altri processi, consentendo la creazione di nuove funzionalità complesse.

Osserviamo che, la definizione dei servizi Web per l'accesso a dati di tipo analitico non presenta grosse difficoltà da un punto di vista tecnico, in quanto si tratta di interagire con sistemi per la gestione di basi di dati relazionali. Al contrario, la definizione dei servizi Web per l'accesso a dati di tipo cartografico comporta la risoluzione delle questione tecniche di cui abbiamo parlato precedentemente. Un'altra questione tecnica da risolvere, riguarda il risultato delle funzionalità realizzate dai processi BPEL. Tali funzionalità hanno lo scopo di combinare dati analitici e cartografici reperiti dai diversi sistemi. Il risultato dovrà essere trasmesso in formato XML. Dunque, si pone il problema di come si possano combinare in un documento XML dati cartografici (eventualmente codificati in GML) e dati analitici. Per fare ciò sarà necessario lavorare ancora a livello di XML Schema al fine di definire il formato di riferimento per i dati di output.

1.1 Organizzazione

Questo documento è organizzato in tre parti (Parte I, Parte II, Parte III), di cui le prime due corrispondono alle due fasi di lavoro condotte durante lo stage all'ISPRA. La prima parte è dedicata alla descrizione del contesto normativo e tecnologico. In particolare, è composta dai seguenti 5 capitoli

- Capitolo 2, in cui forniamo una panoramica degli aspetti legati alla gestione delle informazioni sulla tutela delle acque, quali la normativa di riferimento, i soggetti istituzionali coinvolti e gli strumenti utilizzati.
- Capitolo 3, in cui descriviamo brevemente alcuni aspetti del SINTAI, quali i dati da esso gestiti, gli utenti del sistema, ed i servizi offerti.
- Capitolo 4, in cui parliamo in dettaglio dei GIS, fornendo in particolare una descrizione del modello e tipo di dati gestiti e manipolati nei GIS e del software di gestione dei GIS.

- Capitolo 5, in cui descriviamo il funzionamento di un WebGIS e le caratteristiche dei servizi GIS, in particolare di WMS e WFS, secondo la specifica dell'OGC.
- Capitolo 6, in cui forniamo un'introduzione ai servizi Web ed ai linguaggi XML su cui si basano, e discutiamo alcuni aspetti legati al loro uso.

La seconda parte riassume le considerazioni scaturite dalla fase di studio e di analisi delle problematiche su cui ci siamo focalizzati durante lo stage. È composta dai seguenti due capitoli

- Capitolo 7, in cui discutiamo alcuni aspetti legati all'uso dei servizi Web per accedere in maniera uniforme all'informazione sotto forma di dati, mappe e documenti nel SINTAI.
- Capitolo 8, in cui analizziamo come i servizi Web possano essere utilizzati in combinazione con i GIS, studiando in particolare come sia possibile trasformare i servizi GIS (WMS e WFS) in servizi Web basati sulla specifica W3C.

Il documento si conclude con la terza parte, composta dal Capitolo 9, in cui riassumiamo quanto discusso nella tesi evidenziando dei possibili sviluppi futuri dell'analisi condotta.

Parte I

Contesto e tecnologia di riferimento

Capitolo 2

Gestione dei dati sulla qualità delle acque interne e marine

Per gestione dell'informazione sulla qualità delle acque interne e marine si intende l'insieme delle attività volte a *raccogliere, archiviare, elaborare e diffondere* le informazioni relative alla tutela delle acque dall'inquinamento. In questo capitolo forniamo una panoramica degli aspetti legati alla gestione delle informazioni sulla tutela delle acque, quali la normativa di riferimento, i soggetti istituzionali coinvolti e gli strumenti utilizzati.

2.1 Normativa di riferimento

Tutte le attività inerenti alla gestione delle informazioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento sono regolamentate da alcune norme di riferimento e si sviluppano attraverso delle linee organizzative ed operative specifiche. In particolare, le norme fondamentali sono rappresentate dal D.Lgs 152/99 [2] e dal D.Lgs 152/2006 [3], le quali recepiscono anche le principali direttive comunitarie sulla tutela delle acque (WFD - 2000/60/CE [4]), sui reflui urbani (91/271/CEE [5]), sull'inquinamento da nitrati di origine agricola (91/676/CEE [6]), sulle sostanze pericolose (76/464/CEE [7]), sulle acque potabili, le acque destinate alla vita dei pesci e dei molluschi, i siti balneabili. L'operatività e gli aspetti organizzativi sono a loro

volta regolati dal D.M. 198/2002 [8] e dal D.M. 152/2003 [9], i quali dispongono la standardizzazione delle informazioni ed i ruoli di responsabilità istituzionale nella raccolta, trasmissione, archiviazione e diffusione delle informazioni. Per maggiore chiarezza, forniamo qui di seguito una breve descrizione per ciascuna delle norme sopracitate.

D.Lgs 152/99

Il D.Lgs 152/99, successivamente corretto ed integrato con il D.Lgs. 258/2000 [20], definisce la disciplina generale per la tutela delle acque, al fine di prevenire e ridurre l'inquinamento, risanare e migliorare lo stato delle acque, proteggere le acque destinate ad usi particolari, garantire gli usi sostenibili delle risorse e mantenere la capacità naturale di autodepurazione dei corpi idrici, necessaria a sostenere ampia e ben diversificata la biodiversità delle comunità animali e vegetali. L'obiettivo generale del decreto è il raggiungimento, entro il 2016, di un *buono stato ambientale* per tutte le diverse tipologie di acque, fiumi, laghi, acque marino-costiere, acque di transizione, corpi idrici artificiali e acque sotterranee. Tale obiettivo deve essere conseguito in tutti i bacini idrografici significativi mediante programmi di tutela, di risanamento e monitoraggio integrati come piano complessivo di bacino. Il fine ultimo è una *gestione sostenibile* del complesso delle risorse idriche. L'art. 44 del decreto prevede che ogni Regione si doti di un *Piano di Tutela della Acque*, strumento che contiene, oltre agli interventi volti a garantire il raggiungimento o il mantenimento degli obiettivi prefissati, le misure necessarie alla tutela qualitativa e quantitativa del sistema idrico.

D.Lgs 152/2006

Il D.Lgs 152/2006, meglio conosciuto come “Testo Unico Ambientale”, dà attuazione ad un'ampia delega conferita al Governo dalla Legge n. 308 del 2004 per il riordino, il coordinamento e l'integrazione della legislazione in materia ambientale. Il testo normativo ha come obiettivo primario la promozione dei livelli di qualità della vita umana, da realizzare attraverso la salvaguardia ed il miglioramento delle condizioni dell'ambiente e l'utilizzazione accorta e razionale delle

risorse naturali. Nel decreto viene data facoltà alle regioni di stabilire obiettivi meno rigorosi qualora non possano essere raggiunti quelli di Legge. Nel caso in cui per un corpo idrico siano designati obiettivi di qualità ambientale e per specifica destinazione che prevedano per gli stessi parametri valori limite diversi, devono essere rispettati i limiti più cautelativi. I criteri di elaborazione dei dati nel caso della classificazione per la qualità ambientale e nel caso della qualità per specifica destinazione sono diversi, quindi, anche nel caso di parametri comuni, le valutazioni devono essere considerate in modo complementare.

WFD - 2000/60/CE

La direttiva europea WFD - 2000/60/CE costituisce il quadro di riferimento per la politica comunitaria in materia di acque, definendo gli obiettivi ambientali di prevenzione, tutela, risanamento ed usi sostenibili della risorsa. Tali obiettivi possono essere così riassunti: evitare l'ulteriore degrado e migliorare lo stato degli ecosistemi acquatici; garantire la disponibilità futura delle risorse e gli usi prioritari; minimizzare l'inquinamento e tutelare la qualità dei corpi idrici; ridurre i rischi di inondazioni e siccità. Il fine ultimo è garantire la protezione delle acque superficiali interne, di transizione, costiere e sotterranee per proteggere e migliorare lo stato degli ecosistemi acquatici, basandosi sul concetto fondamentale che *l'acqua è un patrimonio che va protetto, difeso e trattato come tale*. La direttiva definisce chiaramente alcune metodologie standard di valutazione ambientale. Per supportare il complesso processo di condivisione a livello comunitario degli elementi tecnico-scientifici di applicazione della WFD, è stata sviluppata una strategia comune di implementazione (WFD Common Implementation Strategy), che prevede l'elaborazione di linee guida e metodi operativi da parte degli esperti degli Stati Membri dell'Unione Europea.

91/271/CEE

La direttiva europea 91/271/CEE concerne la raccolta, il trattamento e lo scarico delle acque reflue urbane, nonché il trattamento e lo scarico delle acque reflue originate da alcuni settori industriali. Essa ha lo scopo di proteggere l'ambiente

dalle ripercussioni negative provocate dagli scarichi di tali acque. Le acque reflue industriali che confluiscono in reti fognarie e lo smaltimento delle acque reflue urbane e dei fanghi provenienti dagli impianti di trattamento delle acque reflue urbane sono soggetti a regolamentazioni e/o a autorizzazioni specifiche da parte delle autorità competenti. La direttiva stabilisce uno scadenziario che gli Stati membri devono rispettare per attrezzare gli agglomerati urbani che corrispondono ai criteri stabiliti dalla direttiva, con reti fognarie e sistemi di trattamento delle acque reflue. In particolare, l'allegato I - sezione A della direttiva stabilisce che la progettazione, la costruzione e la manutenzione delle reti fognarie sia effettuata adottando le tecniche migliori che non comportino costi eccessivi, tenendo conto sia del volume e delle caratteristiche delle acque reflue urbane; della prevenzione di eventuali fuoriuscite; e della limitazione dell'inquinamento delle acque recipienti, dovuto a tracimazioni causate da piogge violente. Gli Stati membri elaborano, in base alle disposizioni dell'allegato II, gli elenchi delle zone sensibili e meno sensibili che ricevono le acque trattate. Questi elenchi devono essere riveduti regolarmente. Il trattamento delle acque urbane varia in funzione della sensibilità delle acque recipienti. Gli Stati membri sono responsabili del controllo degli scarichi provenienti da impianti di trattamento e delle acque recipienti. Essi provvedono affinché ogni due anni le autorità nazionali competenti pubblichino un rapporto di valutazione che deve essere trasmesso alla Commissione. Inoltre, elaborano e presentano alla Commissione programmi nazionali di attuazione della presente direttiva.

91/676/CEE

La direttiva europea 91/676/CEE, denominata "Direttiva Nitrati", riguarda la protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole. Essa prevede la designazione di *Zone Vulnerabili da Nitrati di origine agricola* (ZVN), nelle quali vi è il divieto di spargimento dei reflui degli allevamenti e di quelli provenienti dalle piccole aziende agroalimentari, fino a un limite massimo annuo di 170 kg di azoto per ettaro. Inoltre, prevede la regolamentazione dell'utilizzazione agronomica degli effluenti zootecnici e dei reflui aziendali, con

definizione dei *Programmi d'Azione*, che stabiliscono le modalità con cui possono essere effettuati tali spandimenti. L'articolo 10 della direttiva stabilisce anche che, a decorrere dalla sua notifica, gli Stati membri presentano ogni quattro anni una relazione alla Commissione. Tale relazione contiene informazioni sui codici di buona pratica agricola, sulle zone designate come vulnerabili ai nitrati, sui risultati del monitoraggio dell'acqua ed un sommario dei principali aspetti dei programmi d'azione elaborati per le zone vulnerabili.

76/464/CEE

La direttiva europea 76/464/CEE riguarda l'inquinamento provocato da alcune sostanze pericolose scaricate nell'ambiente idrico. In particolare, si applica alle acque interne superficiali, alle acque marine territoriali, alle acque interne del litorale, ed alle acque sotterranee. Ai fini della lotta contro l'inquinamento delle acque, la direttiva definisce due elenchi di sostanze pericolose che devono essere controllate. Nella fattispecie, l'inquinamento provocato dalle sostanze pericolose comprese nell'elenco I deve essere eliminato, mentre l'inquinamento provocato dalle sostanze pericolose comprese nell'elenco II deve essere ridotto. Per le sostanze dell'elenco I sono fissati valori limite per le norme di emissione, determinati sulla base delle più valide tecniche disponibili. Questi limiti non possono essere superati, salvo qualora gli Stati membri apportino la prova che gli obiettivi di qualità sono conseguiti e permanentemente mantenuti. Qualsiasi scarico è soggetto ad autorizzazione preventiva, rilasciata dall'autorità competente dello Stato membro interessato. L'autorizzazione può essere concessa soltanto per un periodo limitato e fissa le norme di emissione. È compito degli Stati membri inoltre, vegliare al rispetto delle norme di emissione. Per le sostanze dell'elenco II, gli Stati membri stabiliscono ed attuano programmi intesi a preservare e migliorare la qualità delle acque. Qualsiasi scarico è soggetto ad autorizzazione preventiva, rilasciata dall'autorità competente dello Stato membro interessato, che ne fissa le norme di emissione. Gli Stati membri procedono a sistematici controlli della qualità delle acque ed hanno facoltà di fissare disposizioni più severe di quelle previste dalla direttiva stessa.

D.M. 198/2002

Il D.M. 198/2002 stabilisce che, al fine di garantire un'ampia divulgazione delle informazioni sullo stato della qualità delle acque, queste debbano essere trasmesse su supporto informatico all'*Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente* (ANPA). L'ANPA elabora queste informazioni nell'ambito del Sistema informativo nazionale ambientale, e predispone delle relazioni di sintesi per ciascun settore. Successivamente, essa trasmette al *Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare* (MATTM) e, su richiesta, agli altri Ministeri, i dati elaborati, le relazioni di sintesi e le cartografie per i singoli settori, tenuto conto dei programmi informatici predisposti dalla Commissione europea e delle scadenze temporali. L'ANPA fornisce altresì le informazioni agli organismi europei internazionali mediante i questionari predisposti dagli stessi.

D.M. 152/2003

Il D.M. 152/2003 stabilisce che, al fine di assicurare un'ampia divulgazione sullo stato di qualità delle acque in territorio nazionale, la raccolta dei dati sullo stato di qualità dei corpi idrici debba essere effettuata dall'*Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici* (APAT). L'APAT elabora a livello nazionale, nell'ambito del Sistema informativo nazionale ambientale, i dati e le informazioni e predispone relazioni di sintesi per ciascun settore. Ulteriori elaborazioni sono effettuate sulla base di particolari esigenze del MATTM. Successivamente, essa trasmette al MATTM i dati elaborati, le relazioni di sintesi e le cartografie, elaborate su scala nazionale, per i singoli settori. Inoltre, l'APAT, in collaborazione con il MATTM, pubblica i risultati delle elaborazioni dei dati regionali.

2.2 Soggetti istituzionali competenti

Le attività di raccolta, elaborazione e diffusione dei dati e reportistica sulla tutela delle acque dall'inquinamento sono svolte in Italia da una rete che vede impegnati vari soggetti istituzionali competenti. A livello locale la gestione reale di buona

parte dell'informazione pertinente la qualità delle acque è affidata ai seguenti soggetti:

- *Comuni*
- *ASL*
- *Province autonome*
- *Regioni*

I soggetti locali sono, per la loro vicinanza agli utilizzatori finali (i cittadini), i primi a dover far fronte ai problemi legati all'inquinamento delle acque interne e marine. Il loro ruolo consiste nel raccogliere e aggiornare i dati relativi alla qualità delle acque, nonché attuare la normativa nazionale ed europea vigente in materia di qualità delle acque. A livello nazionale, i soggetti coinvolti sono:

- *Agenzie Regionali e Provinciali per l'Ambiente (ARPA/APPA)* - gestiscono le attività di monitoraggio e di controllo previste dalla normativa vigente sull'inquinamento delle acque, e forniscono il supporto tecnico-scientifico alle amministrazioni regionali e agli enti locali per l'attuazione della normativa nazionale ed europea e dei principali impegni internazionali in materia di qualità delle acque.
- *Autorità di Bacino* - operano sui bacini idrografici, considerati come sistemi unitari e ambiti ottimali, pianificando tutte le attività per la difesa del suolo e del sottosuolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico e la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi. Si tratta di organismi misti in cui cooperano stato e regioni per una pianificazione unitaria ed integrata della difesa e la tutela del territorio.
- *Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca sull'Ambiente (ISPRA)* - fornisce il supporto tecnico-scientifico alle Amministrazioni centrali dello Stato per l'attuazione della normativa nazionale ed europea e dei principali impegni internazionali in materia di qualità delle acque. L'ISPRA ha il compito di elaborare a livello nazionale le informazioni ricevute dalle Regioni e

dalle Province autonome, tramettendole ai Ministeri interessati anche per il successivo invio alla Commissione Europea.

- *Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM)* - è l'organo del Governo Italiano preposto all'attuazione della politica ambientale. Ha funzioni in materia di ambiente, ecosistema, tutela del patrimonio marino, atmosferico, nonché sulla valutazione di impatto ambientale (VIA), valutazione ambientale strategica (VAS) e per l'autorizzazione ambientale integrata (IPPC). Ha competenze in materia di tutela del suolo dalla desertificazione nonché del patrimonio idrogeologico.

2.3 Strumenti: pianificazione e reportistica

La raccolta, elaborazione e diffusione dei dati sulla tutela delle acque dall'inquinamento avviene attraverso delle attività di monitoraggio dei vari corpi idrici. La normativa WFD - 2000/60/CE prevede la pianificazione di tali attività di monitoraggio nonché la trasmissione dei dati di dettaglio relativi al monitoraggio attraverso dei report. Per far fronte alle disposizioni della normativa europea, si utilizzano i seguenti strumenti:

- *Piano Regionale di Tutela delle Acque (PRTA)* - costituisce lo strumento di pianificazione per il raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale nelle acque interne e costiere della regione di riferimento, fissati dalle direttive europee e recepite nella normativa italiana. Contiene inoltre le misure necessarie alla tutela qualitativa e quantitativa del sistema idrico.
- *Piano di Gestione del Distretto Idrografico (PGDI)* - rappresenta lo strumento operativo attraverso il quale si devono pianificare, attuare e monitorare le misure per la protezione, il risanamento e il miglioramento dei corpi idrici superficiali e sotterranei e agevolare un utilizzo sostenibile delle risorse idriche.
- *Sistema Informativo Nazionale per la Tutela delle Acque Italiane (SINTAI)* - è un sistema disponibile via Web che opera nell'ambito del monitoraggio

sulle acque interne e marine fornendo funzionalità di supporto alla programmazione del monitoraggio, classificazione dei corpi idrici, divulgazione e reportistica dei dati secondo la normativa vigente. Il MATTM e l'ISPRA provvedono, attraverso il SINTAI, a definire e mettere a disposizione gli standard informativi e le funzionalità per la trasmissione dei dati al fine del raggiungimento dell'obiettivo di buona qualità delle acque interne e marine italiane.

Nel prossimo capitolo forniamo una descrizione più dettagliata di SINTAI e dei servizi da esso offerti alle istituzioni e al pubblico.

Capitolo 3

Sistema Informativo Nazionale per la Tutela delle Acque Italiane (SINTAI)

Come abbiamo visto nel precedente capitolo, la tutela delle acque in Italia è disciplinata da un insieme di norme nazionali, volte al recepimento di Direttive Comunitarie (WFD - 2000/60/CE [4], 91/271/CEE [5], 91/676/CEE [6]). L'attività di reportistica per la tutela delle acque è effettuata sulla base di disposizioni derivanti dalle norme D.Lgs 152/99 [2], D.Lgs 152/2006 [3], D.M. 198/2002 [8], D.M. 152/2003 [9], e si articola su quattro punti fondamentali:

- definizione di una serie di standard informativi, in particolare descrizione dei formati e dei contenuti;
- raccolta e gestione dei dati;
- elaborazione ed integrazione dei dati a livello locale e nazionale;
- pubblicazione dei dati e rapporti.

L'ISPRA è il soggetto istituzionale responsabile della gestione su scala nazionale di tutti i dati derivanti dalle reti di monitoraggio delle Regioni e Province autonome. La gestione delle informazioni (certificate dai soggetti istituzionali com-

petenti) raccolte ed elaborate nei formati standard stabiliti dalle norme vigenti, avviene tramite il *Sistema Informativo Nazionale per la Tutela delle Acque Italiane* (SINTAI). Il SINTAI è un sistema realizzato e gestito dal *Dipartimento per la Tutela delle Acque Interne e Marine* dell'ISPRA, per consentire il facile accesso alle informazioni ed ai servizi di trasmissione, standardizzazione e certificazione delle informazioni. L'architettura del sistema è stata concepita utilizzando software di tipo *open source*. Il SINTAI è disponibile via Web su rete Internet all'indirizzo <http://www.sintai.sinanet.apat.it/>.

Nelle sezioni successive descriviamo brevemente alcuni aspetti del SINTAI, quali i dati da esso gestiti, gli utenti del sistema, e i servizi offerti.

3.1 Dati

Attraverso il SINTAI è possibile accedere a tutti i dati prodotti dal sistema delle Agenzie regionali e provinciali per la protezione dell'ambiente e trasmessi all'ISPRA dalle Regioni e Province autonome, e ad una serie di servizi per la gestione dei flussi di dati per la reportistica sulla tutela delle acque. L'ISPRA aderisce ai formati di interscambio stabiliti in sede comunitaria. In particolare collabora con l'*Agenzia Europea per l'Ambiente* (EEA) per quanto concerne il flusso di dati comunitario verso *Environment Information and Observation Network* (EIONET), la rete europea per la raccolta e l'organizzazione delle informazioni sull'ambiente. L'ISPRA inoltre costituisce, nell'ambito del SINTAI, il nodo italiano del *Water Information System for Europe* (WISE), il sistema informativo comunitario di reportistica conforme alla Direttiva Comunitaria WFD - 2000/60/CE [4].

Nel SINTAI, le informazioni disponibili sono di due tipi:

- *numerico/analitico* (basi dei dati e report di varia natura);
- *cartografico* (reticolo idrografico, bacini, distretti idrografici, idroeco-regioni, zone vulnerabili ai nitrati, aree sensibili e bacini drenanti).

Tali informazioni vengono classificate in quattro categorie:

- *idrologia* - raccoglie il patrimonio informativo del *Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale* (serie storiche idro-termo-pluviometriche, annali idrologici, cartografia idrografica storica);
- *tutela delle acque dall'inquinamento* - monitoraggio della qualità delle acque e dell'inquinamento provocato dai reflui urbani e dai nitrati di origine agricola, programma di risanamento dei siti balneabili, parametri chimico fisici
- *la Direttiva Comunitaria WFD - 2000/60/CE sulla tutela delle acque ed il nodo nazionale WISE*;
- *le altre Direttive Comunitarie (91/271/CEE - Reflui Urbani, 91/676/CEE - Nitrati).*

3.2 Utenti

Gli utenti del sistema si dividono in due categorie:

- *pubblico*;
- *soggetti istituzionali* - ISPRA, MATTM, Regioni e Province autonome, ARPA e APPA;

Il pubblico utilizza il sistema attraverso un'*area pubblica*, mediante la quale è possibile accedere alle informazioni "consolidate" sulla tutela delle acque e sui parametri idrologici provenienti dalla rete di monitoraggio dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) (Figura 3.1). I soggetti istituzionali hanno invece a disposizione un'*area riservata* per le operazioni di download e di upload, mediante le quali sono implementati gli standard di trasmissione dati. L'accesso all'area riservata avviene tramite autenticazione mediante *username* e *password* (Figura 3.2).

3. Sistema Informativo Nazionale per la Tutela delle Acque Italiane (SINTAI)



Figura 3.1: Area Pubblica nel SINTAI



Figura 3.2: Area Riservata nel SINTAI

3.3 Servizi

Secondo quanto stabilito dal D.M. 17 luglio 2009 [21], l'ISPRA rende disponibili ai soggetti istituzionali citati nella sezione precedente, i servizi necessari per la raccolta dei dati e la produzione dei report ai sensi della Direttiva WFD - 2000/60/CE, secondo le specifiche WISE. Tali servizi sono accessibili all'interno dell'area riservata di SINTAI, alla sezione *Nodo Nazionale WISE*. In generale si distinguono quattro tipi di servizi:

- **standard informativi** - sono pubblicati e resi disponibili per il download le specifiche dati in formato .xls (Excel) e .xsd (XML Schema) corrispondenti alle schede del D.M. 17 luglio 2009 e conformi alle specifiche WISE, le linee guida in formato .xsl (Excel) e in .pdf (Acrobat) per ciascuna scheda;
- **strati informativi GIS di base e codifica dei bacini** - gli strati informativi GIS (vedi Capitolo 4 per i dettagli sui GIS) sono disponibili in formato .shp (Shape) e costituiscono la base cartografica per la costruzione e visualizzazione del reticolo idrografico, dei limiti di bacino e dei distretti idrografici;
- **modalità di trasmissione di file di dati** - i soggetti istituzionali trasmettono i file Excel o XML corrispondenti a ciascuna scheda di competenza per il proprio distretto, utilizzando una procedura semi-automatica di upload. Prima di essere inserito nel database, il file dei dati viene sottoposto ad una procedura di controllo sul formato dei dati in esso contenuti, al fine di verificarne la conformità rispetto agli standard normativi;
- **accesso ai file dati trasmessi** - in generale, tutti i file dati trasmessi vengono organizzati per Distretto. La funzionalità di accesso consente di effettuare il download, la cancellazione e la validazione dei file di dati trasmessi e dei report prodotti dalla procedura automatica di controllo sul formato dei dati. In particolare, l'accesso ai report è consentito soltanto i soggetti che ne hanno effettuato l'upload. Ai file di dati invece potranno accedere tutte le Istituzioni il cui territorio è ricompreso nel Distretto cui si riferiscono i dati

trasmessi. La cancellazione di un file è consentita solo al soggetto che ne ha effettuato l'upload e ne rende indisponibile l'accesso. La validazione dei dati è effettuata dal personale esperto dell'ISPRA.

Capitolo 4

Sistemi Informativi Geografici (GIS)

Un *sistema informativo geografico* (in inglese *Geographic Information System*, abbreviato in *GIS*), è una tecnologia software che permette di posizionare ed analizzare oggetti ed eventi che esistono e si verificano sulla terra. Rispetto alla cartografia cartacea tradizionale, i GIS rappresentano per la pianificazione territoriale, una notevole innovazione nella produzione, archiviazione, gestione e diffusione delle informazioni, rendendo possibile l'adozione di nuove metodologie d'approccio nell'analisi dei dati. Le capacità che distinguono i GIS da altri sistemi informativi e che ne fanno uno strumento di grande valore si possono riassumere in tre approcci (Figura 4.1):

- approccio dei *geodati* - un GIS è un database spaziale, ossia un database contenente dataset che rappresentano l'informazione geografica; consente la raccolta, pre-trattamento e trasformazione di dati spaziali multi-sorgente, il mantenimento e reperimento delle informazioni spaziali, con possibilità di modifica e aggiornamento;
- approccio *geovisualizzazione* - un GIS consente la manipolazione, analisi, aggregazione e disaggregazione dei dati, la modellizzazione e costruzione di rappresentazioni geografiche complete e complesse in cui vengono visualizzati gli elementi geografici e le loro relazioni spaziali con la superficie terrestre;

- approccio *geoprocessing* - un GIS è un insieme di strumenti operativi per l'analisi geografica e l'elaborazione dell'informazione; le funzioni di *geoprocessing*, a partire da dataset geografici esistenti, consentono la produzione di rapporti e sintesi dei dati, la programmazione di attività e l'automazione di flussi di lavoro attraverso l'assemblaggio di sequenze ordinate di operazioni.

Nelle sezioni successive parliamo più in dettaglio dei GIS, fornendo in particolare una descrizione del modello e tipo di dati gestiti e manipolati nei GIS e del software di gestione dei GIS.

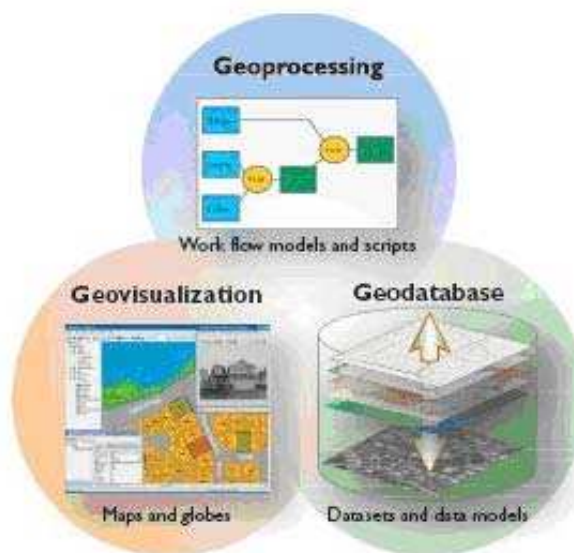


Figura 4.1: I tre approcci di un GIS

4.1 Cos'è un GIS

Un GIS è un sistema informativo computerizzato che permette l'acquisizione, la registrazione, analisi, visualizzazione e restituzione di informazioni derivanti da

dati geografici. Un GIS integra cinque componenti chiave (Figura 4.2):

- *hardware* - l'hardware è rappresentato dal computer su cui opera il GIS. Attualmente un GIS può operare varie piattaforme hardware, dal server al desktop usato in configurazione stand-alone o in rete;
- *software* - il software fornisce le funzioni e gli strumenti per memorizzare, analizzare e visualizzare informazioni geografiche;
- *dati* - i dati sono la componente più importante di un GIS. I dati geografici e le informazioni alfanumeriche ad essi associate possono essere acquisiti direttamente dall'utente o acquistati da un fornitore. Un GIS è in grado di integrare i dati spaziali con altri tipi di sorgenti di dati e può usare dei sistemi di gestione delle basi di dati;
- *procedure* - sono l'insieme dei modelli e delle metodologie operative specifiche di un'organizzazione nell'ambito della quale viene impiegato un GIS;
- *utenti* - gli utenti GIS spaziano dagli specialisti tecnici che disegnano e gestiscono il sistema a coloro che lo utilizzano per adempiere al lavoro quotidiano.

4.2 Come lavora un GIS

Il GIS memorizza le informazioni geografiche attraverso strati informativi tematici (*layers*), che interessano una determinata area geografica, per esempio strade, fiumi, edifici, particelle catastali, confini politici, topografia e immagini da satellite. I vari strati possono essere collegati mediante sovrapposizione e collegamento, come mostrato in Figura 4.3. La maggior parte delle relazioni tra questi livelli può essere facilmente identificata attraverso la comune posizione geografica. Per descrivere la corretta posizione e forma degli elementi geografici occorre fornire un *riferimento spaziale*. Tali riferimenti possono essere *espliciti* (latitudine e longitudine oppure delle coordinate in un sistema di coordinate nazionali) o *impliciti*



Figura 4.2: Componenti di un GIS

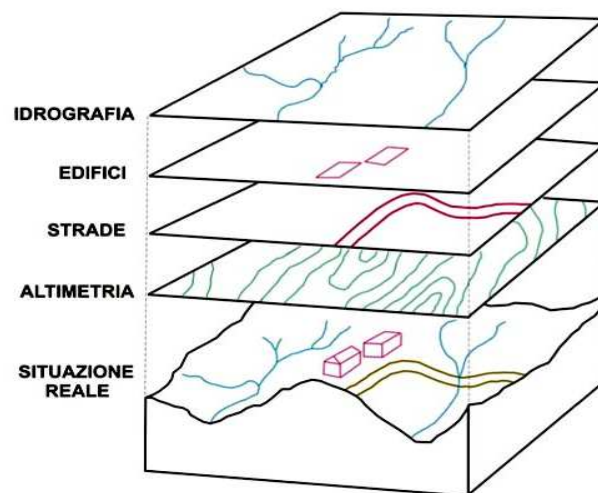


Figura 4.3: Layer tematici in un GIS

(un indirizzo, un codice postale, una sezione di censimento, una denominazione stradale). Mediante un processo automatico denominato geocoding, è possibile ottenere riferimenti geografici espliciti da riferimenti impliciti, consentendo di localizzare oggetti ed eventi sulla superficie terrestre.

4.3 Dati

4.3.1 Modello dei dati di riferimento

I dati gestiti da un GIS sono di tre tipi:

- *dati geometrici* - costituiscono le informazioni per la rappresentazione cartografica della forma degli oggetti (punti, linee e poligoni), dimensione e posizione geografica;
- *dati topologici* - riguardano le mutue relazioni spaziali tra i diversi oggetti geometrici, come la connessione, inclusione o adiacenza, all'interno di un determinato spazio;
- *dati alfanumerici* - dati descrittivi delle caratteristiche degli oggetti attraverso una serie di attributi (numerici, testuali) associati ad ogni elemento.

Questo modello dei dati consente di rappresentare tutti gli oggetti che esistono nel mondo fisico (ad esempio, punti, linee, aree, ecc.) e tutte le combinazioni tra gli oggetti che si possono riscontrare nella realtà. Infatti, oltre alle informazioni di carattere puramente geometrico, un GIS è in grado di strutturare i dati definendone anche la topologia, mediante la gestione e la rappresentazione delle mutue relazioni spaziali tra gli elementi di un oggetto. A ciò si aggiungono i dati descrittivi che costituiscono gli attributi degli oggetti reali. Questi tre insiemi di informazioni (geometria, topologia e attributi) sono poi implementate in un GIS attraverso un modello fisico, basato su basi di dati relazionali e architetture hardware e software particolari.

4.3.2 Attributi descrittivi

Gli attributi, in genere, riportano informazioni riguardanti grandezze fisiche (ad esempio lunghezza ed area) o informazioni descrittive relative all'elemento geografico. Essi vengono memorizzati in tabelle e gestiti tramite basi di dati relazionali. Più tabelle possono essere associate agli elementi geografici attraverso un campo in comune detto chiave. L'interrogazione di tali dati avviene mediante linguaggi di tipo SQL (Structured Query Language).

4.3.3 Codifica dei dati geografici

L'informazione territoriale può essere codificata in un GIS attraverso due tipologie di dato (Figura 4.4):

- *vettoriale*
- *raster*

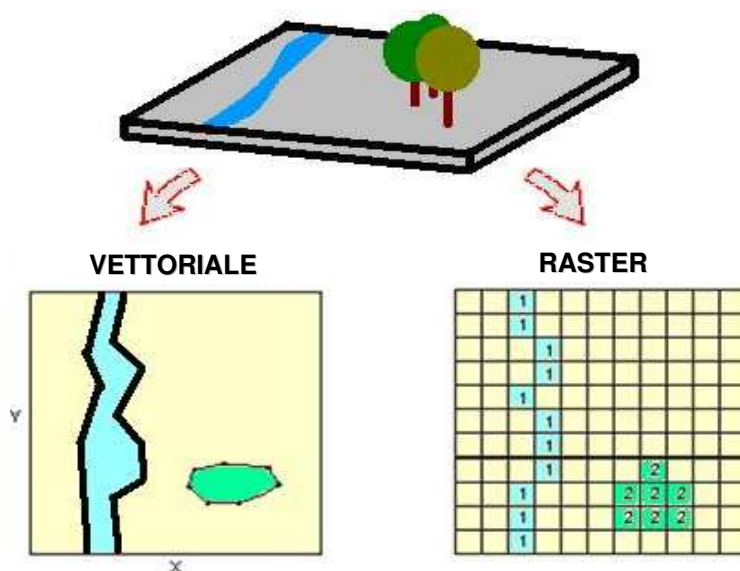


Figura 4.4: Differenza tra dato vettoriale e dato raster

I dati vettoriali sono costituiti da elementi semplici quali punti, linee e poligoni, codificati e memorizzati sulla base delle loro coordinate x, y . Un punto può individuato attraverso le sue coordinate reali (x_1, y_1) , e consente di rappresentare un elemento puntuale come ad esempio una centralina di monitoraggio. Una linea è individuata da una sequenza di coordinate puntuali $(x_1, y_1; x_2, y_2; \dots)$, e di solito consente di rappresentare elementi lineari quali le strade o i corsi d'acqua. Ed infine, un poligono può essere visto come un anello chiuso di coordinate e quindi individuato attraverso la posizione dei suoi nodi $(x_1, y_1; x_2, y_2; \dots, x_1, y_1)$. I poligoni consentono di rappresentare delle porzioni di terreno come ad esempio dei boschi o dei comuni. A ciascun elemento (punto, linea, poligono) è associato un record del database informativo che contiene tutti gli attributi dell'oggetto rappresentato.

Il dato raster permette di rappresentare il mondo reale attraverso una matrice di celle, generalmente di forma quadrata o rettangolare, dette *pixel*. Ciascun pixel contiene un valore alfanumerico che rappresenta delle informazioni relative a ciò che il pixel rappresenta sul territorio. Tale valore può essere rappresentativo di un singolo attributo dell'oggetto di riferimento, o il risultato della combinazione di più informazioni attraverso metodologie d'analisi. La dimensione del pixel (detta anche *pixel size*), generalmente espressa nell'unità di misura della carta (metri, chilometri ecc.), è relazionata alla precisione del dato.

I dati vettoriali e i dati raster si adattano ad usi diversi. Il modello vettoriale è adatto alla rappresentazione di dati che variano in modo discreto e che sono caratterizzati da una propria dimensione e spazio geografico (ad esempio, l'ubicazione dei cassonetti dei rifiuti di una città, la rappresentazione delle strade o una carta dell'uso del suolo). La cartografia raster è più adatta alla rappresentazione di dati con variabilità continua (ad esempio un modello digitale di elevazione o una carta di acclività del versante).

4.4 Funzioni di un GIS

Con un GIS si possono effettuare principalmente le seguenti operazioni:

- *inserimento;*
- *trattamento;*
- *gestione;*
- *ricerca e analisi;*
- *visualizzazione.*

L'inserimento comprende tutti i dati geografici che devono essere convertiti in formato digitale. Il processo di conversione delle carte su supporto cartaceo in strutture digitali si chiama digitalizzazione, e può essere effettuato manualmente o in modo automatico utilizzando un sistema di scansione. Il trattamento consiste nel trasformare i dati per renderli compatibili con il sistema di riferimento geografico con cui si sta lavorando. Infatti, in generale le informazioni posseggono scale diverse e sono fornite a vari gradi di dettaglio e accuratezza. La tecnologia GIS offre molti strumenti per manipolare i dati spaziali e per eliminare le informazioni non necessarie. La gestione dei dati assume un ruolo chiave soprattutto quando il loro volume è di una certa rilevanza e quando gli utenti che vi accedono sono molteplici. Solitamente, i GIS integrano delle basi di dati relazionali per una gestione efficace dei dati. Attraverso le operazioni di ricerca e di analisi è possibile ottenere con facilità informazioni geografiche e relative ai record dei punti descritti. Si possono effettuare delle semplici interrogazioni oppure delle analisi più complesse legate ai contenuti propri di specifiche discipline territoriali. L'operazione di visualizzazione generalmente consente di mostrare le informazioni geografiche come mappe o grafici. Le mappe sono molto efficaci per memorizzare e comunicare informazioni geografiche. L'uso dei GIS consente di estendere l'arte e la scienza della cartografia. Infatti, la rappresentazione su mappe può essere integrata con report, viste tridimensionali, immagini fotografiche ed altre rappresentazioni multimediali.

Mappe GIS

Una mappa viene costruita sovrapponendo strati informativi omogenei dei tipi: puntiformi, lineari, areali, testi, raster georeferenziati tra loro sovrapposti (Figura 4.5). Tale operazione viene chiamata *overlay*. Oltre a consentire la visualizzazione delle mappe, l'overlay permette di collegare tra loro le informazioni sia da un punto di vista geometrico che qualitativo. Una mappa GIS è una mappa che

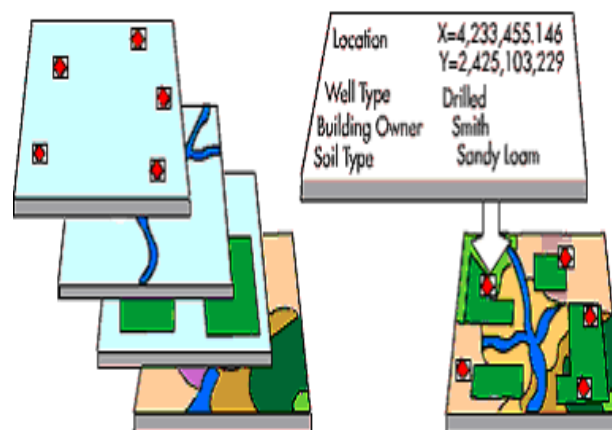


Figura 4.5: Overlay

può essere visualizzata e utilizzata su un computer o su un dispositivo portatile. Le mappe GIS estendono le funzionalità delle tradizionali carte stampate in vari modi:

- le mappe GIS sono multiscala e possono visualizzare automaticamente le informazioni con il livello appropriato di dettaglio attraverso ingrandimenti e riduzioni;
- le mappe GIS sono interattive ed è possibile lavorare con le sole informazioni di interesse, aggiungere nuovi livelli informativi e utilizzare le

funzioni di overlay;

- è possibile interagire con il contenuto di una mappa GIS attraverso una serie di operazioni (navigazione, interrogazioni cartografiche e di identificazione, geocodifica degli indirizzi, tracciamento delle rotte, compilazione dei dati, editing e analisi geografica);
- le mappe GIS possono essere dinamiche, con visualizzazioni animate delle informazioni che variano nel tempo;
- le mappe GIS sono disponibili in molte applicazioni e hanno dimensioni varie (prodotte per il Web, tridimensionali, disponibili per dispositivi mobili, ecc.);
- le mappe GIS possono integrare le informazioni e gli strumenti da più fonti.

4.5 Software GIS

Gli strumenti informatici per la gestione dei GIS sono i *software GIS*. Essi sono il risultato della combinazione di due tipi di software: i *sistemi di disegno computerizzato* (in lingua inglese *Computer Aided Design*, abbreviato in *CAD*) ed i sistemi di gestione delle basi di dati (in inglese *Data Base Management System*, abbreviato in *DBMS*). I primi, insieme alle immagini raster (foto aeree, foto da satellite e immagini ricavate dalla cartografia tradizionale), permettono la rappresentazione in formato digitale di entità geografiche; i secondi consentono l'immagazzinamento dei dati e delle informazioni legati a tali entità. La peculiarità di integrare in un unico ambiente software le operazioni di interrogazione e analisi statistiche legate all'uso delle basi di dati, con l'analisi geografica consentita dalle mappe, rende i software GIS dei potenti strumenti per creare mappe, integrare informazioni, visualizzare modelli, simulare tendenze e presentare scenari, risolvere problemi e trovare soluzioni.

I software GIS disponibili in commercio sono molti. In generale, essi possono essere distinti in due categorie:

- software GIS open source;
- software GIS proprietario;

Alcuni software GIS open source sono: GRASS GIS [22], QUANTUM GIS [23], MapGuide [24]. Alcuni software GIS proprietari sono: ArcGIS della ESRI [25], GeoMedia della Intergraph [26], MapINFO di PBBI [27]. Indipendentemente dal tipo, i software GIS supportano operazioni su dati spazialmente referenziati e dispongono di una serie di funzioni per raccogliere, analizzare e visualizzare le informazioni geografiche. Gli elementi fondamentali di un software GIS sono:

- strumenti per la creazione, la modifica dell'informazione geografica;
- un sistema di gestione delle basi di dati relazionali (in inglese *Relational Data Base Managment System*, abbreviato in *RDBMS*);
- strumenti per l'interrogazione, analisi e visualizzazione;
- un'interfaccia utente grafica (in inglese *Graphical User Interface*, abbreviato in *GUI*).

Nell'ambito dello stage di formazione ambientale svolto all'ISPRA, abbiamo utilizzato la piattaforma ArcGIS della ESRI. Qui di seguito, forniamo un'introduzione a tale la piattaforma, facendo però riferimento solo ai componenti utilizzati durante lo stage.

4.5.1 ArcGIS

ESRI ArcGIS è la *suite* commerciale più diffusa, leader di mercato e ormai standard *de facto* riconosciuto. ArcGIS è una piattaforma completa e scalabile sviluppata per soddisfare ogni esigenza di impiego GIS [28]. Il framework ArcGIS (Figura 4.6), nelle sue componenti principali, si basa su una libreria condivisa di componenti software, denominata ArcObjects, che rende estendibile e riutilizzabile il lavoro di sviluppo e personalizzazione degli applicativi basati su di essi, utilizzando linguaggi di programmazione comuni quali .Net e Java. ArcGIS è

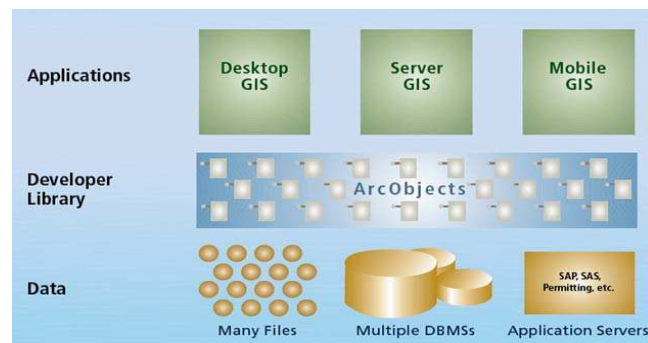


Figura 4.6: Framework ArcGIS

costituito da quattro ambienti operativi principali:

- **ArcGIS Desktop** - suite integrata di applicazioni professionali GIS per gestire e pubblicare l'informazione geografica; comprende i prodotti ArcView, ArcEditor e ArcInfo;
- **Server GIS** - serie di strumenti per la realizzazione di sistemi centralizzati per l'archiviazione, la consultazione e l'analisi dei dati geografici; comprende i prodotti ArcIMS, ArcGIS Server e ArcGIS Image Server;
- **GIS mobile** - serie di strumenti che consentono di sviluppare applicazioni GIS per i dispositivi mobili; comprende i prodotti ArcPad e ArcGIS Mobile;
- **Developer GIS** - serie di componenti software integrabili per sviluppatori che permettono di estendere i GIS desktop, costruire applicazioni GIS personalizzate, creare servizi GIS e applicazioni Web, e sviluppare soluzioni mobile.

L'ambiente operativo utilizzato durante lo stage è ArcGIS Desktop. A seguire forniamo una panoramica dei prodotti in esso compresi.

ArcGIS Desktop

ArcGIS Desktop è una famiglia completa di applicazioni professionali GIS che consente di:

- lavorare con le mappe;
- compilare, editare e gestire l'informazione geografica;
- automatizzare le attività con il geoprocessing;
- analizzare e modellare i dati con il geoprocessing;
- visualizzare i risultati attraverso mappe, in 3D e in viste dinamiche di serie temporali;
- gestire i database geografici multiutente;
- rendere disponibili i risultati e le risorse GIS a una vasta platea di utenti e per numerose applicazioni;
- sviluppare applicazioni personalizzate per la condivisione dei dati GIS;
- documentare e catalogare i dati geografici, le mappe, i globi, gli script di geoprocessing, i servizi GIS, le applicazioni e così via.

ArcGIS Desktop è la piattaforma principale dei professionisti GIS per lo sviluppo un GIS all'interno di un'organizzazione. Esso include un insieme di applicazioni quali ArcCatalog, ArcMap, ArcGlobe, ArcScene, ArcToolbox e ModelBuilder. Attraverso l'utilizzo congiunto di queste applicazioni l'utente è in grado di effettuare qualsiasi tipo di attività GIS, dalla più elementare alla più complessa.

ArcCatalog. L'applicazione ArcCatalog (Figura 4.7) serve per organizzare e gestire tutte le informazioni di un GIS (mappe, globi, file di dati, geodatabase, strumenti di geoprocessing, metadati e servizi GIS). Include strumenti che consentono di sfogliare e cercare le informazioni geografiche, registrare, visualizzare e gestire i metadati, definire lo schema dei geodatabase, ricercare dati GIS su una rete locale e sul Web, amministrare e gestire i servizi GIS.

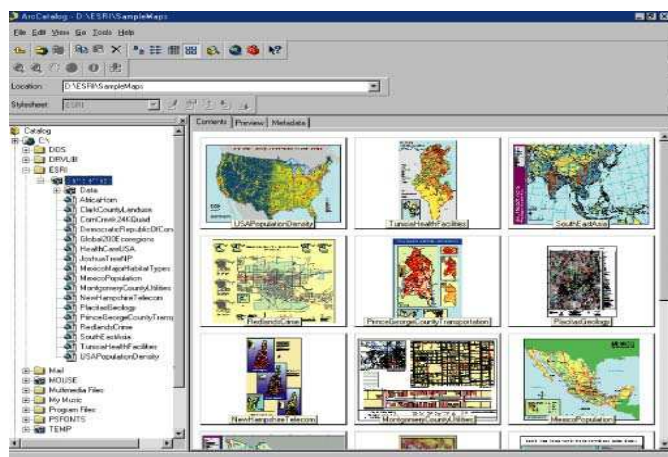


Figura 4.7: ArcCatalog ambiente unificato per la visualizzazione dei dati, dei geodatabase, delle mappe, dei globi e dei servizi GIS

ArcMap. L'applicazione ArcMap serve per la produzione di mappe di ArcGIS Desktop (Figura 4.8). Rappresenta l'applicazione principale di ArcGIS ed è utilizzata per tutte le attività di cartografia, editing, analisi e interrogazione dei dati. ArcMap rappresenta l'informazione geografica in una mappa come una collezione di layers e di altri elementi a cornice, quali la scala grafica, il titolo, la legenda e il testo descrittivo. Esistono due tipi di viste: *vista dei dati* e *vista di layout*. Nella vista dei dati l'utente può lavorare con i layer che contengono i dati geografici. Nella vista di layout vengono rappresentati sia la vista dei dati sia gli altri elementi della mappa. Con ArcMap è possibile creare mappe pronte per la stampa o per la pubblicazione sul Web.

ArcToolbox. L'applicazione ArcToolbox contiene una serie di strumenti, detti toolbox, per l'elaborazione, la conversione ed il geoprocessing dei dati geografici (Figura 4.9).

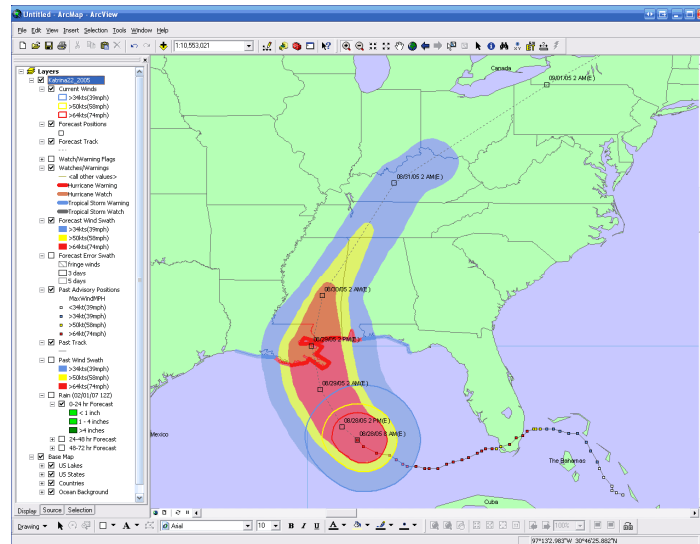


Figura 4.8: ArcMap applicazione principale di ArcGIS per le attività di cartografia, editing, analisi e interrogazione dei dati

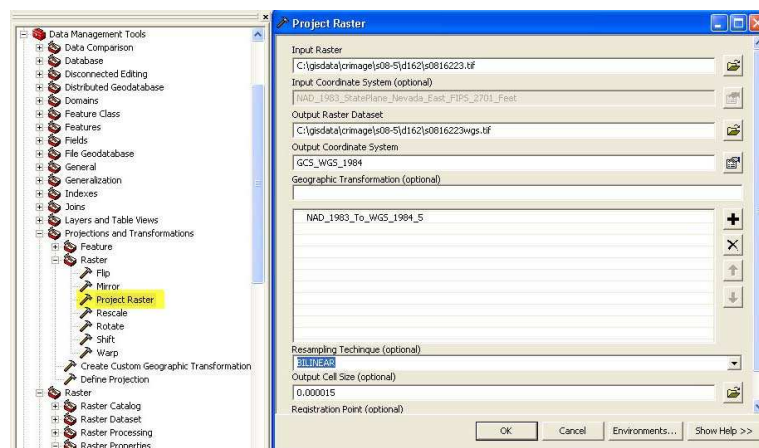


Figura 4.9: ArcToolbox collezione di funzioni di geoprocessing organizzate in una serie di toolbox

Capitolo 5

WebGIS

I WebGIS sono un'estensione dei GIS al Web. Con i WebGIS le applicazioni GIS tradizionalmente sviluppate per utenze stand-alone o in ambienti LAN possono essere implementate su un Web server, consentendo l'interazione attraverso Internet con la cartografia e con i dati ad essa associati usando i browser Internet, talvolta con l'impiego di specifici plug-in, oppure per mezzo di software distinti, tipo Google Earth [29]. Un progetto WebGIS si distingue da un progetto GIS per le specifiche finalità di comunicazione e di condivisione delle informazioni con altri utenti. Gli esempi più noti di WebGIS sono gli applicativi Web per la localizzazione cartografica, gli stradari oppure gli atlanti online, come GoogleMaps [30], Yahoo!Maps [31], BingMaps [32]. Altri esempi tipici di applicazioni GIS pubblicate in versione WebGIS sono i *sistemi informativi territoriali* delle amministrazioni pubbliche, tipo SINTAI (Capitolo 3), che rendono accessibili ai soggetti pubblici e istituzionali le informazioni di carattere ambientale, urbanistico, territoriale offrendo una navigazione su base cartografica delle stesse.

L'architettura di base di un WebGIS è quella classica client/server. Il lato client consiste in un qualsiasi browser mentre il lato server consiste in un Web server e un software WebGIS il cui ruolo è fornire le funzionalità di visualizzazione/interrogazione per l'interpretazione di dati georeferenziati. L'accesso a tali informazioni avviene mediante una serie di servizi Web geospaziali, anche detti servizi GIS: Web Map Service (WMS) [33], Web Feature Service (WFS)

[34], e Catalog Service for the Web (CS-W) [35]. WMS consente di visualizzare i dati geografici come mappe bidimensionali. WFS invece restituisce oggetti geografici codificati in Geography Markup Language (GML) [36], un linguaggio basato su XML per la rappresentazione di informazioni geografiche. CS-W consente la classificazione, la memorizzazione della descrizione, e la ricerca dei servizi. Per facilitare l'interoperabilità tra sistemi diversi e l'interscambio dei dati geografici, l'Open Geospatial Consortium (OGC) [10], il consorzio che definisce i linguaggi per i GIS, ha fornito le specifiche tecniche di un'interfaccia standard per i servizi GIS. In queste specifiche sono descritte le operazioni che devono essere fornite dai servizi ed i loro parametri d'ingresso, il modo in cui queste operazioni possono essere invocate, e altri dettagli. Esistono varie implementazioni commerciali e Open Source dei servizi GIS. Ogni implementazione è conforme a quanto specificato dall'OGC.

Lo scopo di questo capitolo è descrivere il funzionamento di un WebGIS e le caratteristiche dei servizi GIS, in particolare di WMS e WFS, secondo la specifica dell'OGC.

5.1 Cos'è un WebGIS

Un WebGIS è costituito da 5 componenti:

- *hardware* - l'hardware del lato server è composto da un Web server per la connessione dei terminali, firewall di rete, DataBase server per il contenimento delle informazioni, Map server per la produzione delle mappe. Nel lato client può essere presente invece il Web Browser, terminali per la visualizzazione del servizio o palmari per utenti mobili. Sia nel lato client che in quello server, possono essere presenti periferiche di input-output come scanner, stampanti o plotter;
- *software* - il software può essere diviso in tre livelli: il software di base, il software per la gestione di dati geografici, il software per la gestione dei database. Il software di base è composto dal sistema operativo (Linux, Unix, MacOS X, Windows, ecc.), dai linguaggi di programmazione

(PHP, Java, Javascript, C++, Visual Basic, ecc.), dal software per il collegamento di rete (TCP/IP). Il software per la gestione dei dati geografici è la componente che realizza il GIS sottostante. Il software per la gestione di database relazionali(MySQL, PostgreSQL, Oracle, ecc.) viene chiamato DBMS (DataBase Management System) usa il linguaggio SQL come linguaggio di interrogazione;

- *procedure applicative* - vengono generalmente sviluppate all'interno del software WebGIS o all'esterno, mediante opportune librerie di funzioni e linguaggi di programmazione. Tali procedure consentono l'acquisizione di dati, la restituzione dei dati, la gestione degli archivi, l'aggiornamento e l'elaborazione dei dati, i modelli di simulazione, di rappresentazione e le interfacce utente;
- *utenti* - come per i GIS tradizionali, gli utenti spaziano dai progettisti che disegnano e gestiscono il sistema, a coloro che lo utilizzano via Web.

5.2 Come lavora un WebGIS

Il funzionamento di un WebGIS può essere schematizzato nel seguente modo. L'utente, tramite un'apposita interfaccia Web, invia dal proprio client (un generico browser) una richiesta al server. La richiesta può contenere informazioni circa l'area di interesse (estensione geografica della zona da visualizzare) ed i contenuti a cui si vuole accedere (elenco dei layer di interesse). In base ai dati ricevuti, il motore del WebGIS accede e ricerca nel proprio archivio le informazioni richieste, effettuando una connessione alla propria base di dati, oppure accedendo ad altri server cartografici, attraverso dei servizi GIS, per estrarre la porzione di territorio specificata non presente localmente. Il risultato è costituito da una o più immagini che saranno inviate al client. Nel caso in cui la richiesta del client contenga una coppia di coordinate spaziali, o un insieme di coordinate per definire una regione, il server interroga gli attributi degli oggetti cartografici presenti nella zona di in-

teresse, accedendo alla base di dati in cui essi sono memorizzati, e restituisce un report con i valori estratti.

5.3 Funzioni di un WebGIS (lato client)

Le funzionalità che si possono sviluppare e distribuire mediante la parte client di un WebGIS sono molteplici. Esempi di funzionalità di base sono:

- rappresentazione on-line di mappe cartografiche (perimetri comunali, aree abitate, ecc.);
- visualizzazione di gruppi di zone gestiti da Piani Territoriali;
- personalizzazione delle mappe con integrazione di oggetti specifici (uffici, parcheggi, scuole, presidi sanitari, farmacie, ecc.);
- funzioni di zoom in, zoom out, e consultazione di coordinate (con un click del mouse è possibile ingrandire o visualizzare la mappa in scala ridotta, visualizzare una zona diversa, visualizzare le coordinate);
- visualizzazione di schede informative (con un click sul punto di interesse appare la relativa scheda contenente informazioni testuali o multimediali dettagliate);
- gestione di punti di interesse, definizione di nuove categorie di elementi, visualizzazione della lista dei layer, inserimento, modifica e cancellazione dei punti di interesse, ricerca all'interno delle informazioni archiviate;
- produzione automatica di elaborati (ad esempio certificati o documentazione catastale).

5.4 Software WebGIS (lato server)

Anche nel campo dei WebGIS sono presenti soluzioni software proprietarie e open source. A livello proprietario, la suite ESRI ArcGIS è la più famosa. Essa offre

una serie di prodotti server, quali ArcIMS, ArcGIS Server, ArcGIS Image Server. Le soluzioni open source non sono complete come ESRI ArcGIS. Tuttavia esse consentono di gestire l'interazione tra client e server, e di pubblicare servizi Web conformi alle raccomandazioni dell'OGC (WMS, WFS, WCS). Esempi di software open source, sono MapServer [37], GeoServer [38], e MapGuide [24]. Quest'ultimo è stato utilizzato nell'ambito dello stage svolto all'ISPRA.

MapGuide

MapGuide è una piattaforma open source che consente lo sviluppo di applicazioni di Web mapping e servizi Web geospaziali. È dotato di un visualizzatore per mappe interattivo che consente la selezione delle caratteristiche e l'ispezione delle proprietà associate all'informazione geografica. MapGuide consente di memorizzare i contenuti delle mappe in formato XML. Inoltre, supporta anche i formati più comuni per i file geospaziali. MapGuide gira sia su Linux e Microsoft Windows, supporta Apache and IIS come Web server, e consente di sviluppare applicazioni in PHP, .NET, Java, and JavaScript APIs.

5.5 Servizi Web geospaziali (specifica OGC)

La natura stessa delle applicazioni geografiche richiede che le informazioni geografiche siano integrate e condivise tra le diverse organizzazioni. La condivisione delle informazioni geografiche è resa possibile grazie ad una serie di servizi GIS che consentono l'accesso via Web alle mappe ed ai dati ad esse associati. In un ambiente distribuito quale Internet, in cui convivono sistemi diversi, il problema dell'interoperabilità tra i sistemi assume una particolare importanza. La difficoltà più rilevante è quella di riuscire ad individuare le informazioni geografiche disponibili, capire come fare ad accedervi, ma soprattutto riuscire ad integrare i dati provenienti dai vari fornitori. Infatti, i dati geografici solitamente provengono da sorgenti che usano programmi, strutture e modelli diversi. Per risolvere il problema dell'interoperabilità, l'OGC ha fornito le specifiche tecniche di un'interfaccia standard per i servizi GIS, in cui sono descritte le operazioni fornite dai

servizi, i loro parametri d'ingresso ed il modo in cui queste operazioni possono essere invocate. È da sottolineare che quanto suggerito dall'OGC fa riferimento alla struttura dell'interfaccia dei servizi GIS, all'insieme delle operazioni che devono essere realizzate, e al formato dei dati d'ingresso e dei risultati ottenuti. Nulla viene detto a proposito della loro implementazione. Ed infatti, esistono varie implementazioni commerciali e open source dei servizi GIS. Chiaramente, ogni implementazione è conforme a quanto specificato dall'OGC.

Come abbiamo accennato all'inizio di questo capitolo, i servizi GIS sono tre: WMS, WFS, CS-W. Nell'ambito dello stage svolto presso l'ISPRA ci siamo concentrati sui primi due, di cui forniamo una descrizione nel seguito.

5.5.1 Web Map Service (WMS)

Web Map Service (WMS) produce dinamicamente mappe di dati spazialmente riferiti a partire da informazioni geografiche. Le mappe prodotte sono rese disponibili:

- sotto forma di un'immagine digitale in formato PNG (Portable Network Graphics), GIF (Graphic Interchange Format) o JPEG (Joint Photographic Expert Group) - *picture case*;
- sotto forma di un insieme confezionato di singoli elementi, tipicamente già proiettato in un sistema di riferimento e coordinate, in cui inoltre sono definiti gli elementi grafici da utilizzare. In questo caso il formato in cui viene restituita la mappa è SVG (Scalable Vector Graphics) o CGM (Computer Graphics Metafile) - *graphic element case*.

Il servizio fornisce tre operazioni base:

- GetCapabilities - consente di ottenere in formato leggibile per un computer e per un uomo, la descrizione dei dati disponibili e dei parametri accettati dal servizio stesso;
- GetMap - restituisce una mappa a partire dai parametri geografici e dimensionali forniti;

- GetFeatures - restituisce informazioni sugli oggetti della mappa visualizzata.

Le prime due operazioni devono essere necessariamente fornite da qualunque implementazione del servizio. La terza è invece opzionale.

Le operazioni di WMS vengono invocate usando un client che supporti il protocollo HTTP, in forma di Uniform Resource Locators (URL)(ad esempio un browser standard), attraverso le operazioni HTTP GET e POST. Il contenuto della URL dipende dalle operazioni richieste. In particolare, nel richiedere una mappa la URL indica quali informazioni devono essere visualizzate sulla mappa, quale porzione della Terra deve essere rappresentata, il sistema di coordinate desiderato, il formato e le dimensioni dell'immagine di output. Qualora due o più mappe siano prodotte con gli stessi parametri geografici e di dimensione dell'immagine, i risultati possono essere sovrapposti per produrre una mappa composita.

5.5.2 Web Feature Service (WFS)

Web Feature Service (WFS) permette la richiesta e l'importazione da parte di un client di entità geografiche, anche dette *features*, attraverso il Web. Una feature è un oggetto con un certo numero di proprietà. Siccome gli oggetti geografici in generale sono modellati in modo eterogeneo, nel loro trasferimento è necessario inviare anche lo schema utilizzato per la loro modellazione. Al fine di accrescere l'interoperabilità tra i server che realizzano WFS, l'OGC ha proposto il linguaggio GML come linguaggio standard basato su XML per la codifica degli oggetti geografici. È costituito da un insieme di tag che consentono di descrivere oggetti, sistemi di coordinate, la geometria e la tipologia degli oggetti, il tempo, unità di misura e valori generalizzati. WFS fornisce le seguenti operazioni di base:

- GetCapabilities - consente di ottenere in formato leggibile per un computer e per un uomo, la descrizione dei dati disponibili e dei parametri accettati dal servizio stesso;
- DescribeFeatureType - restituisce la descrizione delle feature e lo schema dei dati;

- GetFeature - restituisce un'istanza di una feature le cui proprietà sono state specificate;
- Transaction - consente la manipolazione dei dati attraverso operazioni di creazione, cancellazione e aggiornamento di nuove istanze di feature;
- LockFeature - applica una funzione di lock-request ad una o più istanze di feature durante una transazione in modo da prevenirne la manipolazione.

Le prime tre operazioni devono essere necessariamente fornite da qualunque implementazione del servizio. Le restanti due sono opzionali. Un servizio WFS che supporta solo le funzionalità obbligatorie viene detto *di base*, o *read-only mode*. Se invece vengono supportate anche le funzionalità opzionali, il servizio viene detto *transazionale*.

Capitolo 6

Servizi Web (specifica W3C)

I servizi Web sono delle applicazioni software che possono essere usate attraverso una rete, come Internet, mediante lo scambio di messaggi XML. Un servizio Web offre un'interfaccia software, nella quale vengono specificate le operazioni fornite dal servizio. Utilizzando questa interfaccia, altri sistemi possono interagire con il servizio stesso attivando le operazioni in essa descritte tramite appositi messaggi. Tali messaggi sono scambiati mediante protocolli di comunicazione e formattati mediante il linguaggio XML. Proprio grazie all'uso di linguaggi standard basati su XML, i servizi Web consentono l'interoperabilità tra diverse applicazioni software su diverse piattaforme hardware. Il consorzio *Organization for the Advancement of Structured Information Standards* (OASIS) [39] ed il *World Wide Web Consortium* (W3C) [11] sono i principali responsabili della standardizzazione della tecnologia dei servizi Web. Caratteristica fondamentale dei servizi è la possibilità di utilizzarli in combinazione l'uno con l'altro (indipendentemente da chi li fornisce e da dove vengono resi disponibili) per formare servizi complessi in grado di soddisfare nuovi requisiti. L'accesso ai servizi in rete e la condivisione delle risorse comporta una serie di attività che devono essere effettuate, come ad esempio la ricerca del servizio, la sua invocazione e la composizione con altri servizi.

In questo capitolo dopo aver fornito un'introduzione ai servizi Web ed ai linguaggi XML su cui si basano, discutiamo alcune aspetti legati al loro uso.

6.1 Cos'è un servizio Web

Si possono dare diverse definizioni dei servizi Web, a seconda degli aspetti che si vogliono evidenziare. La prima definizione è quella fornita dal W3C, la quale mette in evidenza gli aspetti tecnologici dei servizi, sottolineando il modo in cui essi sono reperibili nel Web e come interagiscono con le altre applicazioni in rete.

Un servizio Web è un'applicazione software identificata da una URL, che può essere pubblicata, localizzata ed invocata attraverso il WEB. Il servizio è dotato di un'interfaccia descritta in un formato comprensibile da altre macchine ed interagisce con le altre applicazioni software mediante lo scambio di messaggi XML.

La seconda definizione mette in risalto il ruolo dei servizi nei processi aziendali.

Un servizio Web è un'applicazione in grado di eseguire delle attività di business in modo autonomo ed ha anche la capacità di interagire con altri servizi per completare delle transazioni di business più complesse.

La terza definizione è più orientata all'ingegneria del software e si concentra sul carattere modulare dei servizi.

I servizi Web sono componenti software indipendenti e riusabili, distribuiti e accessibili mediante protocolli Internet, che incapsulano delle funzionalità discrete.

Ed infine, un servizio Web può anche essere visto come una nozione astratta che deve essere implementata da un oggetto che invia e riceve messaggi. Il servizio è dunque rappresentato dall'insieme delle funzionalità che sono rese disponibili dall'oggetto stesso.

6.2 Architettura di Riferimento

L'architettura di riferimento per i servizi Web è la *Service Oriented Architecture* (SOA) in cui il mezzo trasmissivo è il Web (Figura 6.1). In generale, la SOA

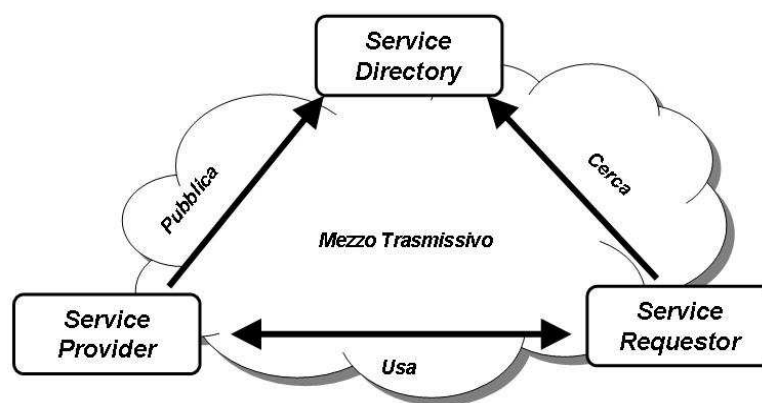


Figura 6.1: Architettura di Riferimento per i servizi Web

è un tipo di architettura per i sistemi distribuiti in cui i servizi sono realizzati da applicazioni che cooperano tra loro mediante messaggi scambiati attraverso le interfacce, ed espressi in formato standard. Nella SOA per i servizi Web, si possono individuare tre attori:

- *Service Provider* (fornitore del servizio) - realizza e mette a disposizione il servizio. Le caratteristiche del servizio vengono memorizzate all'interno di un registro che è accessibile pubblicamente. Il fornitore rimane in attesa che un client richieda tale servizio;

- *Service Directory* (Registro dei servizi) - gestisce il registro dei servizi Web, consentendo a chi lo richiede di effettuare la ricerca del servizio sulla base delle caratteristiche con le quali tale servizio è stato definito;
- *Service Requestor* (client del servizio) - è il potenziale cliente del servizio. Dapprima interroga il Service Directory per ottenere la descrizione e la localizzazione del servizio e successivamente si collega con il Service Provider indicato, per iniziare ad usare il servizio trovato.

Questi tre attori possono essere distribuiti in rete ed utilizzare piattaforme tecnologiche differenti, con l'unico vincolo però di usare tutti e tre lo stesso mezzo trasmissivo comune (il Web, appunto).

6.3 Linguaggi dei servizi Web

Per consentire l'adozione su larga scala della SOA per i servizi Web, sono stati definiti un insieme di linguaggi standard basati su XML (Figura 6.2). Nella restante parte di questa sezione forniamo una breve descrizione di alcuni di essi. Per ulteriori dettagli si rimanda ai riferimenti citati per ciascuno dei linguaggi.

6.3.1 Web Service Description Language (WSDL)

WSDL è il linguaggio basato su XML per descrivere i servizi Web. In generale un servizio è descritto a partire dai messaggi scambiati tra il fornitore e il cliente del servizio stesso. Questi messaggi sono a loro volta descritti in modo astratto e successivamente legati ad un particolare protocollo di rete e ad un formato. La descrizione del servizio ne costituisce l'interfaccia. Attraverso l'interfaccia, altri sistemi (servizi, programmi o persone) possono interagire con il servizio, richiedendo l'esecuzione delle operazioni che esso fornisce.

Il W3C è responsabile del processo di standardizzazione del linguaggio WSDL e della definizione delle nuove versioni. La descrizione che forniamo qui di seguito riguarda la versione WSDL 1.1 [13], in quanto è quella a noi più familiare.

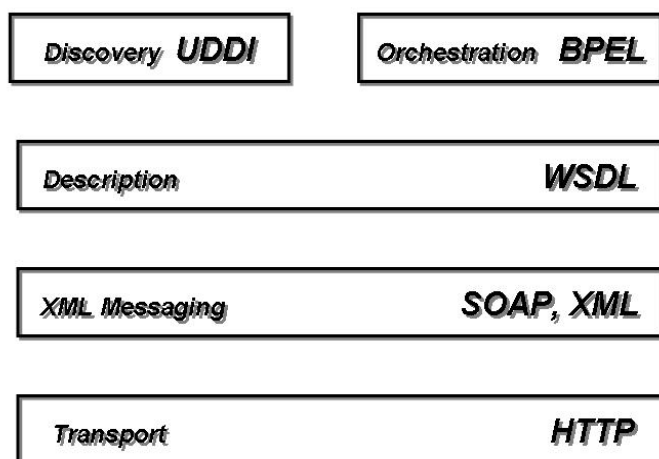


Figura 6.2: Linguaggi standard per i servizi Web

Una nuova versione WSDL 2.0 è stata proposta dal W3C ma è ancora in fase di revisione. I riferimenti alle bozze di proposta sono [14, 15, 16].

In WSDL, il servizio è visto come un insieme di porte, o punti di accesso. Ciascuna porta (in inglese *port*) raggruppa le interazioni correlate che possono intercorrere tra il fornitore ed il cliente del servizio. Le interazioni possibili attraverso una porta sono descritte come operazioni caratterizzate da un messaggio di input e da un messaggio di output opzionale. Di fatto, una porta identifica l'indirizzo a cui il servizio risponde ed il tipo di protocollo supportato, ma non le caratteristiche del servizio stesso. A tale scopo, per specificare la reale sintassi del servizio, si associa ad ogni port una *portType* che ha il ruolo di definire cosa fa il servizio, ovvero l'insieme delle funzionalità che esso offre. Ogni interazione cliente-fornitore del servizio avviene attraverso uno scambio di messaggi opportunamente identificati in WSDL attraverso il tag *message* grazie al quale è possibile specificare il formato del messaggio. Ogni messaggio è visto come un insieme di parti, ognuna delle quali è aderente ad un tipo di dato che può essere uno di quelli primitivi di XML (ad esempio interi, stringhe e booleani) oppure un tipo di dato definito dall'utente, specificato tramite il tag *types*.

Sebbene risulti molto generico, WSDL è al tempo stesso molto esauriente e consente di descrivere servizi di diverse tipologie. Questi infatti, possono essere sincroni (tra fornitore e utente c'è uno scambio di messaggi di richiesta e risposta), o asincroni (si ha l'invio del messaggio in una sola direzione, per effettuare una richiesta). Di fatto, WSDL propone una fotografia del servizio, ovvero una descrizione di cosa fa e di come possa essere invocato. Il modo in cui il servizio è realizzato, cioè il programma software che effettivamente esegue le operazioni, è assolutamente irrilevante ai fini dell'interazione con il client. Fintanto che l'interfaccia del servizio rimane invariata, tale interazione si svolgerà sempre nello stesso modo, anche se è cambiata l'implementazione del servizio.

6.3.2 Simple Object Access Protocol (SOAP)

SOAP [12] è un protocollo basato su XML e HTTP in grado di far interagire componenti remoti attraverso il Web. Il protocollo consiste di tre parti:

- un *envelope* (busta) che definisce un quadro di riferimento per descrivere il messaggio e il modo in cui deve essere manipolato;
- un insieme di regole di codifica per esprimere le istanze dei tipi di dato definiti dall'applicazione;
- una convenzione per rappresentare le chiamate RPC¹ e le rispettive risposte.

Una delle caratteristiche principali di questo protocollo è il fatto che la specifica delle chiamate viene descritta in XML, mentre il trasporto dei messaggi si poggia sul protocollo HTTP. Ciò pone SOAP in posizione privilegiata rispetto ad altri meccanismi di invocazione presenti in standard di computazione distribuita, quali ad esempi Java RMI e CORBA, in quanto spesso i loro messaggi vengono bloccati dai firewall, ponendo quindi delle limitazioni nell'uso del Web durante la comunicazione.

6.3.3 Universal Description Discovery and Integration (UDDI)

La chiave per il successo nella realizzazione di sistemi basati sui servizi Web è la possibilità di reperire i servizi. UDDI [17] è nato per fornire una piattaforma che consenta di reperire i servizi Web sulla base di diverse tipologie di ricerca. Più precisamente, UDDI è uno strumento che, utilizzando opportune strutture dati, tiene traccia della dislocazione dei servizi e delle loro descrizioni, consentendo ricerche anche efficaci ed efficienti proprio grazie ad una classificazione dei servizi basata sulle informazioni raccolte. L'architettura UDDI consente di affrontare le tre seguenti problematiche:

- accesso alla descrizione, alle tipologie ed ai fornitori dei servizi secondo una struttura dati ben definita;
- astrazione della tecnologia utilizzata nella realizzazione del servizio;
- ricerca del servizio secondo chiavi di ricerca differenti.

¹Remote Procedure Call (RPC) si riferisce all'attivazione di una procedura o subroutine da parte di un programma, su computer remoti accessibili attraverso una rete.

Tale architettura prevede la creazione di un ambiente distribuito *peer-to-peer* in cui i vari nodi che contengono una parte dei servizi disponibili possano interoperare tra loro allo scopo di soddisfare le richieste di pubblicazione e ricerca dei servizi. Ogni nodo dell'infrastruttura, gestito da una figura che assume il ruolo di *operatore*, deve essere realizzato secondo le specifiche rilasciate dal gruppo di lavoro UDDI. Tali specifiche definiscono sia la struttura delle informazioni che un registro UDDI deve memorizzare, sia l'insieme minimo delle procedure applicative da implementare per l'accesso alle informazioni stesse. Proprio questo set di procedure consente la ricerca di servizi o tipologia di servizi secondo chiavi di ricerca differenti.

6.3.4 Web Service Business Process Execution Language (WS-BPEL)

WS-BPEL (BPEL in breve) è un linguaggio basato su XML per descrivere formalmente i processi commerciali ed industriali in modo da permettere una suddivisione dei compiti tra attori diversi. Un'applicazione BPEL viene invocata come servizio Web ed interagisce con il mondo esterno esclusivamente invocando altri servizi Web. In questo senso, essa stessa rappresenta una forma di coordinazione di servizi Web, permettendo altresì di comporre questi ultimi in maniera ricorsiva. L'obiettivo di BPEL è quello di specificare un modello di comportamento dei servizi Web durante un processo di business. I servizi che devono essere coordinati sono descritti in WSDL e eventualmente memorizzati in un registro UDDI. L'ambiente runtime all'interno del quale viene eseguito il generico processo è detto motore BPEL (in inglese *orchestration engine*). Tramite BPEL quindi, è possibile assumere due punti di vista: quello del cliente che avrà l'impressione di interagire con un singolo servizio, e quello dei servizi cooperanti all'interno del processo che saranno invocati dal motore BPEL nei tempi e nei modi indicati all'interno del processo stesso. La descrizione del linguaggio che forniamo qui di seguito riguarda la versione BPEL4WS 1.0 [18] in quanto è quella a noi più familiare. L'OASIS ha recentemente cambiato il nome in WS-BPEL al fine

di rispettare la convenzione nell'ambito dei servizi Web, in base alla quale tutti i linguaggi devono cominciare con WS. In particolare, l'OASIS ha proposto una nuova versione WS-BPEL 2.0, il cui riferimento è [19].

Il linguaggio BPEL permette di descrivere un processo di business come un insieme di attività che possono essere *semplici* o *strutturate*. Attività di tipo semplice consentono di gestire richieste da parte del client (chiamate attività di *receive*) oppure inviare messaggi di risposta al cliente (chiamate attività di *reply*). Per poter soddisfare le richieste del client, il processo utilizza le funzionalità offerte da una serie di servizi Web esterni chiamati *partner*, invocati mediante l'attività di *invoke*. L'interazione con il servizio chiamato sarà di tipo sincrono o asincrono a seconda delle sue caratteristiche. Tutte le attività eseguite all'interno del processo dovranno essere svolte secondo uno schema ben preciso che costituisce il *protocollo di interazione* tra il processo ed i servizi partner. La definizione del protocollo si basa sull'uso delle attività strutturate, le quali consentono di raggruppare attività semplici per esprimere loop, operazioni condizionali, esecuzione sequenziale, esecuzione concorrente, ecc. Le attività strutturate sono le seguenti:

- *sequence*, per eseguire un insieme di operazioni in modo sequenziale;
- *flow*, per eseguire delle operazioni in parallelo;
- *switch* e *pick*, per esprimere un'alternativa tra le operazioni;
- *while*, per esprimere le iterazioni;

Per mantenere i dati corrispondenti alle richieste ricevute o alle risposte di invocazioni di servizi, all'interno del processo si possono usare delle variabili, le quali di fatto rappresentano lo stato del processo. Queste variabili possono essere manipolate attraverso l'attività di *assign*, il che rende BPEL molto simile ad un linguaggio di programmazione. Nel momento in cui un processo viene invocato da parte di un client, si crea una istanza del processo, la quale identifica una sessione in cui verranno portati a termine una serie di operazioni che complessivamente costituiscono il comportamento del processo. Al fine di distribuire i messaggi correttamente tra le varie sessioni concorrenti di un processo (ovvero tra

le varie istanze del processo create in seguito a delle richieste), si devono identificare le interazioni che sono pertinenti per ogni istanza attiva del processo stesso. A tale scopo, in BPEL si utilizzano i *correlation sets*. Ogni correlation set rappresenta un insieme di proprietà le quali sono degli alias per le parti dei messaggi da scambiare. Per ogni istanza del processo vengono attivati una serie di correlation set, ed il valore assunto dalle proprietà di ciascuno di essi serve per identificare in modo univoco l'istanza del processo a cui corrispondono.

6.4 Uso dei servizi Web

L'uso dei servizi Web in rete comporta l'esecuzione di una serie di operazioni come ad esempio la localizzazione del servizio, la sua invocazione, e la eventuale composizione con altri servizi. Nella presente sezione discutiamo brevemente alcuni questioni legate a queste attività.

6.4.1 Localizzazione

La localizzazione di un servizio Web (in inglese *Web Service Discovery* riguarda la capacità di individuare un servizio Web in rete che sia in grado di svolgere un particolare compito e che risponda a determinate caratteristiche.

In generale, i servizi Web possono essere utilizzati sia in reti locali che in Internet. Come discusso nelle sezioni precedenti, ad un servizio Web è associata una URL che consente di determinare la località fisica (una cartella specifica su un computer locale o su una macchina in Internet). La localizzazione del servizio mediante la sua URL presume che si conosca questa URL, e comunque che si conosca la sua interfaccia. Sappiamo, per quanto detto in precedenza che per la ricerca dei servizi Web, è possibile anche utilizzare i registri UDDI. L'insieme di questi registri può essere visto come una guida del telefono per i servizi Web. Le organizzazioni possono rendere pubblici, in questi registri, i servizi che esse forniscono. Le applicazioni possono automaticamente esaminare questi elenchi e trovare i servizi che servono. Nei registri UDDI si hanno a disposizione tre tipi di informazioni (Figura 6.3):

- *pagine bianche*, con informazioni su come contattare una organizzazione;
- *pagine gialle*, dove le organizzazioni sono elencate per categorie usando una tassonomia;
- *pagine verdi*, che elencano i servizi Web offerti dalle varie organizzazioni con la loro descrizione WSDL.

I registri UDDI possono essere pubblici ed essere accessibili da Internet oppure possono servire una singola organizzazione ed essere accessibili da una intranet.

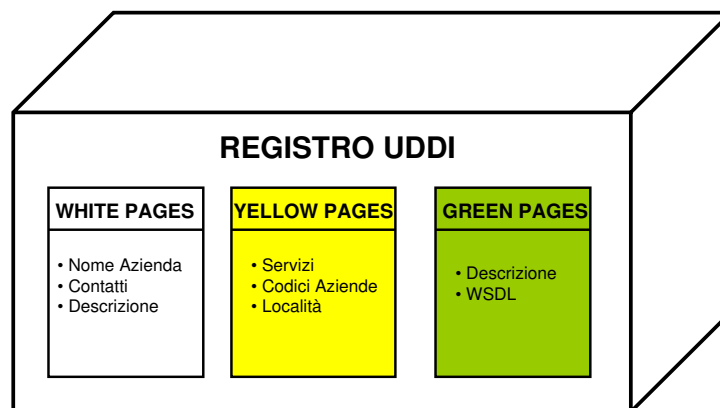


Figura 6.3: Registro UDDI

6.4.2 Invocazione

Una volta individuato il servizio, un client può invocarlo. L'invocazione comporta l'invio di una richiesta di esecuzione di un'operazione e dei dati di input necessari. Dopo un'ispezione dell'interfaccia WSDL del servizio, il client seleziona una delle operazioni a disposizione e genera un primo messaggio SOAP da inviare al servizio. Successivamente, il client ed il servizio interagiscono scambiandosi altri messaggi SOAP fino al termine dell'esecuzione (Figura 6.4).

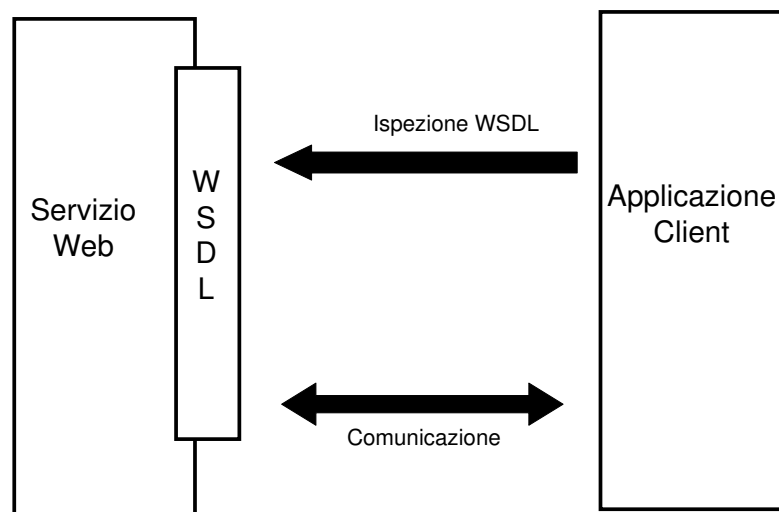


Figura 6.4: Invocazione di un servizio Web mediante SOAP

6.4.3 Composizione

Come accennato all'inizio di questo capitolo, una caratteristica fondamentale dei servizi è la possibilità di utilizzarli in combinazione l'uno con l'altro (indipenden-

temente da chi li fornisce e da dove vengono resi disponibili) per formare servizi complessi in grado di soddisfare nuovi requisiti. La composizione dei servizi Web rappresenta uno strumento per integrare in modo semplice i servizi forniti da vari fornitori tra loro indipendenti. In un ottica più generale, i servizi Web possono essere considerati come dei blocchi di base, a partire dai quali è possibile realizzare dei nuovi servizi. Questi a loro volta possono essere composti con altri servizi in modo da creare nuove applicazioni, rendendo così l'operazione di composizione ricorsiva. A tale scopo, i servizi Web possono essere distinti in due categorie:

- *servizi elementari*, realizzati da applicazioni tradizionali;
- *servizi composti*, implementati da processi complessi costituiti da più invocazioni ad altri servizi, eseguite in un ordine specifico.

Orchestrazione

L'orchestrazione è un tipo di composizione dei servizi Web in cui si fa riferimento ad un processo di business che interagisce con altri servizi interni o esterni (disponibili in Internet). Il processo che detiene il controllo dell'esecuzione è detto *orchestratore*.

Il linguaggio BPEL è considerato il linguaggio standard per l'orchestrazione dei servizi. Esso infatti consente di specificare il processo orchestratore modellando il comportamento dei servizi partner che vengono orchestrati nell'realizzazione del processo di business (Figura 6.5). La definizione del processo orchestratore come processo BPEL permette la manifestazione del processo come un servizio Web. Questo nuovo servizio Web può essere consumato come partner da parte di altri processi di business, oppure può diventare fruitore di altri servizi Web (elementari e/o composti) offerti da altri partner.

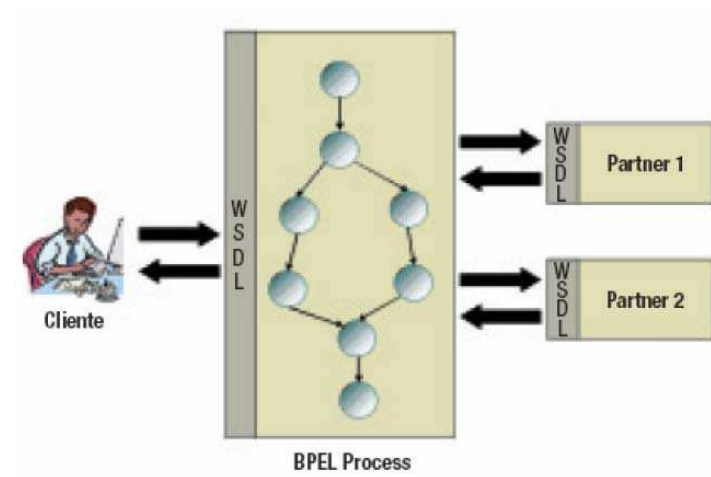


Figura 6.5: Orchestrazione dei servizi in BPEL

Parte II

Studio ed Analisi

Capitolo 7

Evoluzione di SINTAI

Come abbiamo visto nel Capitolo 3, SINTAI è un sistema informativo deputato alla raccolta, gestione e diffusione di dati, reportistica e documenti, relativi alla tutela delle acque interne e marine. La parte di SINTAI adibita alla reportistica costituisce il nodo italiano del *Water Information System for Europe* WISE, portale informativo europeo delle acque. Il WISE è accessibile via Web all'indirizzo <http://water.europa.eu>, e permette di navigare nelle informazioni collezionate a livello europeo sulle acque, attraverso delle mappe interattive che sintetizzano i dati (ad esempio di monitoraggio) e visualizzano le relative carte tematiche.

Attualmente, il WISE è l'unico mezzo a disposizione per assolvere gli obblighi di reportistica sulla tutela delle acque posti dalla Direttiva Comunitaria WFD - 2000/60/CE [4]. Il piano di sviluppo per WISE prevede un'estensione finalizzata alla gestione delle informazioni geo-referenziate consistente con la Direttiva INSPIRE [40]. L'obiettivo della direttiva è fornire un quadro giuridico agli stati membro della Comunità Europea per la realizzazione e l'attivazione di un'infrastruttura per l'informazione territoriale in Europa. Tale infrastruttura sarà a supporto degli stati membro per formulare, attuare, monitorare e valutare le politiche comunitarie a vari livelli e fornire informazioni ai cittadini. In futuro, il WISE dovrà anche gestire i flussi dati relativi alla reportistica in adempimento ad altre Direttive e convenzioni sulle acque, in particolare le Direttive Reflui urbani, Acque di balneazione, Nitrati. Inoltre, esso dovrà diventare la componente per

il tema acque del *Sistema informativo distribuito europeo* (in inglese *Shared Environmental Information System*, abbreviato in SEIS), destinato a fornire tutte le informazioni e i dati sulle varie tematiche ambientali.

In questo quadro di evoluzione generale, anche il SINTAI subirà delle modifiche. L'ISPRA ha da tempo avviato il *progetto per il nodo nazionale WISE*. L'obiettivo è la definizione e lo sviluppo di sistema informativo integrato, Internet-based, di applicazioni software e processi che creano un'infrastruttura di supporto per la predisposizione e l'invio del reporting nazionale verso il sistema europeo WISE. In tal senso, l'ISPRA si sta muovendo su due fronti. Da un lato è impegnato nell'implementazione di nuovi standard di trasmissione dei dati, conformi alle direttive europee. Dall'altro sta sperimentando nuovi modelli architetturali per consentire l'accesso e l'integrazione dei dati in un ambiente distribuito. In quest'ultimo caso, questa trasformazione è anche motivata dalla diffusione di nuove architetture delle basi di dati che consentono il reciproco scambio delle informazioni attraverso i servizi Web, favorendo così la fruizione delle informazioni da parte di altre applicazioni e di sistemi eterogenei esterni.

In questo capitolo ci proponiamo di discutere alcuni aspetti legati all'uso dei servizi Web per accedere in maniera uniforme alla tutta l'informazione sotto forma di dati, mappe e documenti nel SINTAI.

7.1 Trasformazione

Come descritto nel Capitolo 3, le informazioni accessibili nel SINTAI sono di due tipi: analitico e cartografico. I dati di tipo analitico sono disponibili sotto forma di documenti e report di varia natura che riassumono i dati e gli standard relativi al monitoraggio delle acque. Questi documenti vengono memorizzati in basi dati relazionali, residenti su macchine specifiche e gestiti da dei DBMS. L'accesso a tali dati è effettuato interrogando la base di dati. I dati di tipo cartografico sono disponibili in formato .shp (Shape) e costituiscono la base cartografica per la costruzione e visualizzazione delle mappe. L'informazione cartografica è gestita ed acceduta attraverso un WebGIS. In particolare, nel sistema SINTAI sono real-

izzati una serie di servizi WMS e WFS che consentono mediante un browser la consultazione delle mappe e delle proprietà delle entità geografiche.

Allo stato attuale, il SINTAI, pur garantendo performance di sufficiente livello, non consente nè di gestire, nè di introdurre agevolmente, caratteristiche di cooperazione applicativa e di scalabilità istituzionale delle informazioni. Le informazioni vengono composte secondo viste logiche, conformemente a quanto la normativa richiede, utilizzando applicazioni sviluppate caso per caso. Questa caratteristica, unita al fatto che la di trasmissione dati nel sistema avviene mediante una procedura semi-automatica (che richiede dunque l'intervento umano), e che la politica di accesso ai dati si basa su un insieme di credenziali minimo (username e password), rendono necessario un intervento di trasformazione del sistema.

Lo scopo del presente lavoro è quello di fornire una serie di indicazioni su come, a nostro avviso, possa essere trasformato il SINTAI. La trasformazione che vogliamo suggerire si basa su una reingegnerizzazione del sistema che preveda:

- un'architettura applicativa di tipo SOA (Sezione 6.2) che renda disponibili i servizi Web per la fruizione e la gestione dei dati cartografici e analitici provenienti da sorgenti differenti, e che consenta l'interoperabilità dei sistemi cartografici con altri sistemi e applicazioni non dedicate alla cartografia;
- un'interfaccia utente Web-based con procedure semplificate per l'esportazione e l'importazione dei dati, in grado di offrire nuove modalità di estrazione dei dati e nuovi automatismi (filtri, query, ecc.) per migliorare la fruizione dei dati dalle maschere di visualizzazione finalizzati anche alla produzione dei report;
- una nuova politica di sicurezza per l'accesso ai dati che consenta la visualizzazione di alcune porzioni dei dati sulla base della verifica di un insieme predefinito di credenziali.

7.2 Uso dei servizi Web per l'accesso alle informazioni sulle acque

L'architettura SOA di riferimento è descritta in Figura 7.1. L'idea di base è quella di fornire l'accesso ai dati cartografici e analitici esclusivamente attraverso i servizi Web. Possiamo pensare a questi servizi come a delle operazioni elementari che possono essere eseguite nel sistema. Per operazione "elementare" intendiamo un'operazione di base per l'accesso ai dati (a qualsivoglia livello di granularità).

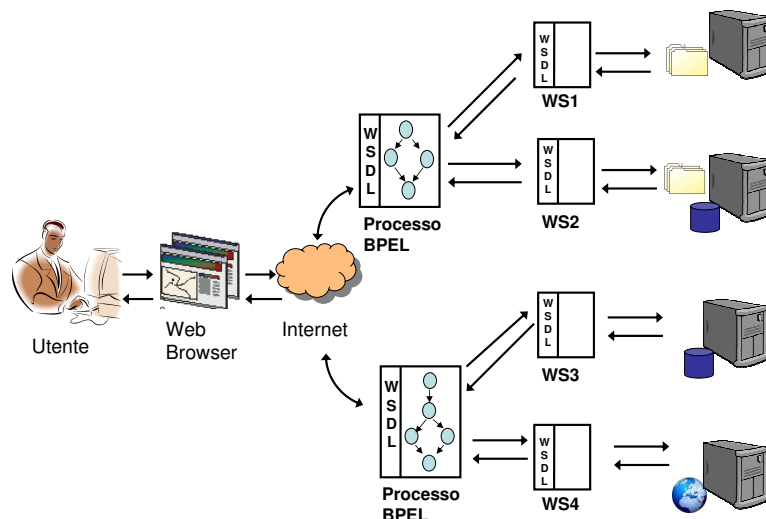


Figura 7.1: Uso dei servizi Web per accedere alle informazioni sulle acque

Ogni servizio è visto attraverso la propria interfaccia, descritta mediante WSDL, nella quale vengono specificati il formato dei dati di input e di output nonché il formato dei messaggi SOAP accettati dal servizio stesso. La composizione dei servizi avviene mediante orchestrazione, usando il linguaggio WS-BPEL. In particolare, viene definito un processo orchestratore che stabilisce come e quando i vari servizi debbano essere invocati, e come debbano essere combinati i dati analitici e cartografici reperiti dai sottostanti sistemi, al fine di soddisfare la richiesta dell'utente. Attraverso la composizione dei servizi elementari, siamo in grado di fornire delle nuove funzionalità che realizzano delle modalità più complesse di

estrazione dei dati. Per ciascuna nuova funzionalità possiamo creare un processo BPEL, che stabilisce la procedura di accesso e composizione delle informazioni estratte dal sistema. I processi BPEL sono esposti in rete attraverso la loro interfaccia WSDL, e dunque sono visti come servizi Web. Ciò vuol dire che essi, a loro volta, possono assumere il ruolo di servizi partner nella definizione altri processi al fine di creare delle funzionalità ulteriormente complesse. La richiesta dell'utente viene sottomessa al sistema attraverso il Web. Mediante il browser, l'utente si limita a specificare una serie di parametri e vincoli che definiscono il tipo di interrogazione da inviare al sistema. Ciò può essere fatto ad esempio riempiendo semplicemente i campi di una form online. Una volta inviata la richiesta, verrà invocato l'opportuno processo orchestratore che interagirà con i servizi partner per recuperare i dati sottostanti e assemblarli in un formato opportuno, basato su XML, e restituirli all'utente.

La definizione dei servizi Web per l'accesso a dati di tipo analitico non presenta grosse difficoltà da un punto di vista tecnico, in quanto si tratta di interagire con sistemi per la gestione di basi di dati relazionali. Al contrario, la definizione dei servizi Web per l'accesso a dati di tipo cartografico comporta la risoluzione di una serie di questioni tecniche legate ai sistemi GIS, di cui sia l'OGC che la comunità scientifica si stanno occupando. Come accennato nella Sezione 5.5, per facilitare l'interoperabilità, l'OGC ha fornito le specifiche tecniche di un'interfaccia standard per i servizi GIS. In realtà, i servizi GIS, secondo la specifica OGC, non sono equivalenti ai servizi Web così come definiti dal W3C. Infatti, un servizio Web è dotato di un'interfaccia descritta in WSDL e viene invocato attraverso lo scambio di messaggi SOAP. Al contrario, i servizi GIS sono invocati mediante HTTP GET/POST, via browser. Inoltre, in riferimento al risultato prodotto dall'orchestrazione dei servizi Web, la combinazione in un documento XML di dati cartografici (eventualmente codificati in GML) e dati analitici richiede che si debba lavorare a livello di XML Schema al fine di stabilire il formato di riferimento per i dati di output. Nel capitolo successivo illustriamo le problematiche relative all'integrazione dei sistemi GIS con sistemi non-geografici e analizziamo come sia possibile ottenere una specifica WSDL delle interfacce di WMS e WFS.

Capitolo 8

Servizi Web per i GIS

La tecnologia dei GIS sta diventando parte integrante delle infrastrutture informative in molte organizzazioni, sia pubbliche che private. I GIS illustrano relazioni, connessioni, e schemi che non sono necessariamente evidenti in un qualsiasi insieme di dati, consentendo alle organizzazioni di prendere decisioni in modo più consapevole, considerando tutti i fattori pertinenti. Utilizzando i GIS come infrastruttura centrale per le informazioni di tipo geografico, le organizzazioni sono in grado di condividere, coordinare e comunicare concetti chiave tra le varie unità nell'ambito dell'organizzazione o tra organizzazioni separate. La tecnologia dei GIS viene anche utilizzata per distribuire informazioni cruciali fuori dai confini dell'organizzazione, via Internet mediante l'uso dei servizi GIS [41].

Grazie al carattere universale di Internet ed alla disponibilità di dati e strumenti per la visualizzazione ed elaborazione online, oggi è possibile accedere ad un elevato numero di siti dedicati alla cartografia di alta qualità, e ad applicazioni che consentono la visualizzazione e l'analisi di dati geografici pubblici. Se da un lato la notevole fruibilità di questo dati e applicazioni ha dei grossi vantaggi, dall'altro però crea un problema di interoperabilità. Infatti, i servizi GIS, distribuiti da diversi fornitori non possono, nella maggior parte dei casi, interagire o comunicare l'uno con l'altro, in quanto si basano su modelli e strutture dati diversi tra loro [42]. Osserviamo però che, la natura stessa delle applicazioni geografiche richiede che ci sia una perfetta integrazione e condivisione di dati territoriali provenienti

da diversi fornitori. Per facilitare l'interoperabilità, l'OGC ha fornito le specifiche tecniche di un'interfaccia standard per i servizi GIS, in cui vengono descritti l'insieme delle operazioni che devono essere realizzate, il formato dei dati d'ingresso e dei risultati ottenuti. Esistono varie implementazioni commerciali e open source dei servizi GIS. Ogni implementazione è conforme a quanto specificato dall'OGC. In realtà, le specifiche dei servizi GIS fornite dall'OGC fanno parte di un'iniziativa detta *OGC Web Services* (OWS), che ha come obiettivo la definizione di un framework di riferimento per costruire sistemi distribuiti intorno ai principi di SOA [43]. Attualmente l'iniziativa è alla fase 7 [44]. Le indicazioni fornite dall'OGC sono state utilizzate per realizzare un'infrastruttura per la condivisione delle informazioni geografiche in Germania [45] ed in Canada [46].

Come abbiamo accennato nel Capitolo 6, i sistemi basati su un'architettura SOA consentono di combinare dei servizi distribuiti che interagiscono tra loro mediante scambio di messaggi. Esistono vari modi di realizzare una SOA. La tecnologia dei servizi Web è lo standard più diffuso. Grazie ad un insieme di linguaggi basati su XML, i servizi Web consentono l'interoperabilità tra diverse applicazioni software su diverse piattaforme hardware. A nostro avviso, essi rappresentano un valido strumento per ottenere l'interoperabilità tra dati geografici e servizi in rete. Lo scopo di questo capitolo è analizzare come i servizi Web possano essere utilizzati in combinazione con i GIS, studiando in particolare come debba evolvere la tecnologia. Nella fattispecie, illustriamo come sia possibile trasformare i servizi GIS (WMS e WFS) in servizi Web basati sulla specifica W3C. Per motivi di praticità, d'ora in avanti i servizi Web basati sulla specifica W3C saranno indicati semplicemente come servizi Web.

8.1 Vantaggi

Come accennato in [47, 48], l'uso di un'architettura basata su SOA, nonché la definizione dei servizi GIS come servizi Web comporta una serie di vantaggi che illustriamo brevemente qui di seguito.

- Una SOA è basata sul riuso di componenti standard. Dunque, consente di ottenere un ambiente aperto e in grado di garantire l'interoperabilità.
- In una SOA le applicazioni sono realizzate come servizi e dunque come insieme minimo di funzionalità richieste, contrariamente ai GIS in cui solo una piccola parte delle funzionalità disponibili è utilizzata.
- In una SOA i dati non sono memorizzati localmente ma provengono da sorgenti diverse. Questa caratteristica ben si sposa con la natura dei GIS che solitamente combinano informazioni provenienti da più sorgenti.
- Esporre i servizi GIS come servizi Web rende più facile la condivisione dei dati geografici e delle applicazioni tra piattaforme, sistemi operativi e linguaggi diversi.
- L'utilizzo dei servizi GIS come servizi Web consente agli sviluppatori di integrare le funzionalità per la cartografia ed i dati ad esse associati nelle loro applicazioni.
- L'industria dedita allo sviluppo dei software GIS ha a sua disposizione un'infrastruttura consolidata per la creazione di architetture basate sui servizi Web (ambienti di sviluppo, server applicativi, protocolli per lo scambio di messaggi, protocolli di sicurezza, ecc.).

8.2 Verso la specifica W3C dei servizi GIS

I servizi GIS, così come definiti dall'OGC, non sono equivalenti ai servizi Web. Infatti, un servizio Web è dotato di un'interfaccia descritta in WSDL e viene invocato attraverso lo scambio di messaggi SOAP. Al contrario, la descrizione dei servizi GIS è fornita dall'OGC attraverso una specifica delle operazioni che devono essere implementate. Tali operazioni possono essere invocate usando un Web browser via HTTP GET/POST, passando i parametri al servizio come parametri nella URL. La Figura 8.1 mostra come avviene l'invocazione del servizio sulla base della specifica OGC.



Figura 8.1: Servizi GIS basati sulla specifica OGC: invocazione tramite HTTP GET/POST

L'OGC sta tentando di integrare gli standard dei servizi Web (WSDL, SOAP, UDDI) nel framework OWS, proponendo come cambiare le specifiche dei servizi GIS [49, 50]. Sulla base dello studio svolto nell'ambito dello stage, in questa sezione vogliamo fornire alcuni spunti su come sia possibile trovare una corrispondenza tra i servizi GIS ed i servizi Web, e dunque definire un'architettura basata su SOA. Come già osservato precedentemente, il primo passo da compiere nella definizione di una specifica W3C dei servizi GIS è associare una descrizione WSDL della loro interfaccia. Questo richiede che venga effettuato uno studio a livello di XML Schema in quanto il problema primario da risolvere è come riuscire a tradurre le operazioni HTTP GET e POST in scambi di messaggi SOAP. In particolare, sia la richiesta che la risposta verranno inserite nel corpo dei messaggi SOAP. La Figura 8.2 mostra come dovrebbe avvenire l'invocazione del servizio sfruttando la specifica W3C. Una volta ottenuta la specifica WSDL dei servizi GIS, questi potranno essere composti con altri servizi Web presenti in rete (visti tramite la loro interfaccia WSDL), mediante ad esempio orchestrazione, consentendo così di combinare dati cartografici e analitici.

8.2.1 WMS

La versione W3C di un servizio GIS WMS differisce dalla versione OGC per la descrizione dell'interfaccia e per il modo in cui viene invocato [51]. L'implementazione del servizio invece rimane la stessa. Il servizio dovrà essere invocato usando il protocollo SOAP. L'interazione con il servizio avviene mediante uno scambio di messaggi SOAP.

Osserviamo che lo schema d'interazione con un servizio WMS è di tipo request-response. Cioè, il servizio viene invocato attraverso una richiesta mediante la quale si chiede l'esecuzione di una delle operazioni messe a disposizione dal servizio stesso (GetCapabilities, GetMap, GetFeatures). Una volta invocato, il servizio esegue l'operazione richiesta e comunica il risultato al client inviando una risposta. Sia la richiesta che la risposta dovranno essere definite come un documento XML. Tale documento costituirà il corpo del messaggio SOAP (SOAP request message e SOAP response message, rispettivamente). A titolo

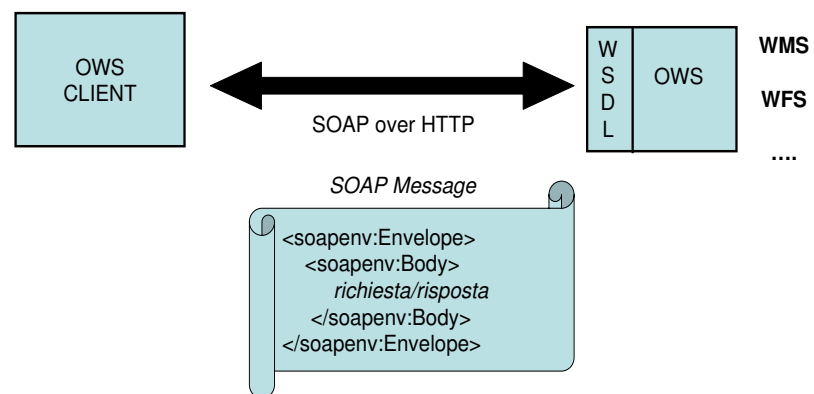


Figura 8.2: Servizi GIS basati sulla specifica W3C: invocazione tramite scambio di messaggio SOAP

esemplificativo, forniamo di seguito una traccia del codice XML che definisce la descrizione WSDL di un servizio WMS. Per alcuni dei tag XML usati diamo una breve spiegazione. Per ulteriori dettagli su WSDL si rimanda il lettore a [13, 14, 15, 16].

```
<wsdl:message name="GetCapabilitiesRequest">
```

```
    ....
```

```
</wsdl:message>
```

```
<wsdl:message name="GetCapabilitiesResponse">
```

```
    ....
```

```
</wsdl:message>
```

```
<wsdl:message name="GetMapRequest">
```

```
    ....
```

```
</wsdl:message>
```

```
<wsdl:message name="GetMapResponse">
```

```
    ....
```

```
</wsdl:message>
```

```
<wsdl:message name="GetFeaturesRequest">
```

```
    ....
```

```
</wsdl:message>
```

```
<wsdl:message name="GetFeaturesResponse">
```

```
    ....
```

```
</wsdl:message>
```

```
    ....
```

```
<wsdl:portType name="WMS-Service">
```

```
<wsdl:operation name="wms.getCapabilities">
<wsdl:input message="wms-req:GetCapabilitiesRequest"/>
<wsdl:output message="wms-resp:GetCapabilitiesResponse"/>
....
</wsdl:operation>

<wsdl:operation name="wms.getMap">
<wsdl:input message="wms-req:GetMapRequest"/>
<wsdl:output message="wms-resp:GetMapResponse"/>
....
</wsdl:operation>

<wsdl:operation name="wms.getFeatures">
<wsdl:input message="wms-req:GetFeaturesRequest"/>
<wsdl:output message="wms-resp:GetFeaturesResponse"/> ....
</wsdl:operation>
....
```

Per ciascuna funzionalità offerta abbiamo definito una messaggio di richiesta e uno di risposta. In WSDL, un messaggio è costituito da un nome e da un insieme di parti che definiscono i parametri del messaggio. Le parti hanno un tipo, definito con XML Schema. Nel caso di WMS, questi parametri sono quelli delle operazioni. Chiaramente, i nomi ed i valori di questi parametri devono essere OGC compatibili. La compatibilità è ottenuta definendo opportunamente un XML Schema di riferimento. Il tag `<portType>` definisce le operazioni fornite dal servizio attraverso una lista di `<operation>` tag. Si ha un `<operation>` per ogni operazione fornita da WMS. Tutte le operazioni sono di tipo request-response. Ciò vuol dire che nella definizione XML ci dovrà essere un tag `<input>` che specifica il messaggio di request ricevuto in input al servizio, e un `<output>` che specifica il messaggio di response inviato al client come risultato dell'esecuzione dell'operazione.

8.2.2 WFS

Analogamente a quanto discusso in precedenza per WMS, la versione W3C di un servizio GIS WFS differisce dalla versione OGC per la descrizione dell'interfaccia e per il modo in cui viene invocato. L'implementazione del servizio invece rimane la stessa. Il servizio dovrà essere invocato usando il protocollo SOAP. L'interazione con il servizio avviene mediante uno scambio di messaggi SOAP.

Anche per WFS, lo schema di interazione è di tipo request-response. Il servizio viene invocato attraverso una richiesta mediante la quale si chiede l'esecuzione di una delle operazioni messe a disposizione dal servizio stesso (GetCapabilities, DescribeFeatureType, GetFeature, Transaction, LockFeature). Una volta invocato, il servizio esegue l'operazione richiesta e comunica il risultato al client inviando una risposta. Richiesta e risposta sono definite come un documento XML ed inserite nel corpo del messaggio SOAP (SOAP request message e SOAP response message, rispettivamente). Come abbiamo già fatto per WMS, forniamo di seguito una traccia del codice XML che definisce la descrizione WSDL di un servizio WFS.

```
<wsdl:message name="GetCapabilitiesRequest">
```

```
....
```

```
</wsdl:message>
```

```
<wsdl:message name="GetCapabilitiesResponse">
```

```
....
```

```
</wsdl:message>
```

```
<wsdl:message name="DescribeFeatureTypeRequest">
```

```
....
```

```
</wsdl:message>
```

```
<wsdl:message name="DescribeFeatureTypeResponse">
```

```
....
```

```
</wsdl:message>
```

```
<wsdl:message name="GetFeatureRequest">
    ....
</wsdl:message>

<wsdl:message name="GetFeatureResponse">
    ....
</wsdl:message>

<wsdl:message name="TransactionRequest">
    ....
</wsdl:message>

<wsdl:message name="TransactionResponse">
    ....
</wsdl:message>

<wsdl:message name="LockFeatureRequest">
    ....
</wsdl:message>

<wsdl:message name="LockFeatureResponse">
    ....
</wsdl:message> ....

<wsdl:portType name="WFS-Service">

<wsdl:operation name="wfs.getCapabilities">
<wsdl:input message="wfs-req:GetCapabilitiesRequest"/>
<wsdl:output message="wfs-resp:GetCapabilitiesResponse"/>
    ....
```

```
</wsdl:operation>

<wsdl:operation name="wfs.describeFeatureType">
<wsdl:input message="wfs-req:DescribeFeatureTypeRequest"/>
<wsdl:output message="wfs-resp:DescribeFeatureTypeResponse"/>
....
</wsdl:operation>

<wsdl:operation name="wfs.getFeature">
<wsdl:input message="wfs-req:GetFeatureRequest"/>
<wsdl:output message="wfs-resp:GetFeatureResponse"/>
....
</wsdl:operation>

<wsdl:operation name="wfs.transaction">
<wsdl:input message="wfs-req:TransactionRequest"/>
<wsdl:output message="wfs-resp:TransactionResponse"/>
....
</wsdl:operation>

<wsdl:operation name="wfs.lockFeature">
<wsdl:input message="wfs-req:LockFeatureRequest"/>
<wsdl:output message="wfs-resp:LockFeatureResponse"/>
....
</wsdl:operation>
....
```

Come prima, per ciascuna funzionalità offerta abbiamo definito una messaggio di richiesta e uno di risposta. Il tag `<portType>` definisce una lista di `<operation>` tag, uno per ogni operazione fornita da WFS. Anche in questo caso, tutte le operazioni sono di tipo request-response. Le operazioni sono caratterizzate da un tag `<input>` che specifica il messaggio di request ricevuto in input al servizio, e un

`<output>` che specifica il messaggio di response inviato al client come risultato dell'esecuzione dell'operazione.

8.3 Osservazioni

Come abbiamo più volte osservato, per garantire la compatibilità tra la specifica OGC e quella W3C dei servizi GIS è necessario lavorare a livello di XML Schema al fine di definire correttamente lo schema di riferimento dei dati, sia per i messaggi di input che per quelli di output. Per i messaggi di input, si devono rappresentare i parametri che vengono usati per invocare il servizio GIS. A tale scopo si può utilizzare il tag `<complexType>` in XML Schema che consente di descrivere tipi di dati user-defined. Per i messaggi di output, la modellazione del risultato in XML dipende dal tipo di operazione in esame.

Nel caso di WMS, l'operazione `GetCapabilities` restituisce un documento XML che descrive i dati disponibili e i parametri accettati dal servizio stesso. Siccome questo documento è formattato secondo lo schema [52], in questo caso la codifica in messaggi SOAP è facilitata. Nel caso delle restanti due operazioni (`GetMap` e `GetFeatures`), siccome il risultato è una mappa o delle informazioni sugli oggetti presenti nella mappa richiesta precedentemente, bisogna capire come fare a rappresentare le informazioni geografiche in XML e restituirle sotto forma di immagini. Per quanto riguarda WFS, il risultato delle operazioni sono documenti GML. Dunque, i messaggi SOAP di output possono essere formattati usando un XML Schema basato su GML. A tale scopo può essere utile fare riferimento a [53].

Parte III

Conclusioni

Capitolo 9

Sommario e sviluppi futuri

L'attività di stage svolto all'ISPRA ha avuto come obiettivo lo studio e l'analisi delle problematiche tecniche legate all'evoluzione di SINTAI nell'ambito del progetto per il nodo nazionale WISE. Tale attività è stata condotta in due fasi. L'organizzazione delle due fasi si riflette anche nella struttura del presente documento.

Nella prima fase abbiamo analizzato il SINTAI e la tecnologia di base dei sistemi GIS. In particolare, abbiamo studiato la normativa nazionale ed europea di riferimento in materia della tutela delle acque interne e marine. Il quadro normativo è stato brevemente descritto nel Capitolo 2. Successivamente, nel Capitolo 3 abbiamo descritto il SINTAI, un sistema messo a punto dall'ISPRA per consentire il facile accesso alle informazioni sulla tutela delle acque ed ai servizi di trasmissione, standardizzazione e certificazione delle informazioni. Attraverso il SINTAI è possibile accedere a tutti i dati prodotti dal sistema delle Agenzie regionali e provinciali per la protezione dell'ambiente e trasmessi all'ISPRA dalle Regioni e Province autonome, e ad una serie di servizi per la gestione dei flussi di dati per la reportistica sulla tutela delle acque. Il lavoro di analisi della struttura del SINTAI ha richiesto l'approfondimento delle conoscenze riguardanti una serie di strumenti informatici necessari alla gestione delle informazioni geografiche, territoriali ed ambientali, quali i GIS (Capitolo 4) ed i WebGIS (Capitolo 5). Grazie allo stage, abbiamo potuto acquisire delle competenze su queste tecnologie, le

quali trovano larga applicazione in tutti quei settori, di carattere pubblico o privato, che, direttamente o meno, trattano dati di carattere geografico-ambientale. Ed infine, nel Capitolo 6 abbiamo introdotto la tecnologia dei servizi Web con l'intento di fornire la chiave di lettura per la discussione successiva sull'evoluzione dell'architettura del SINTAI in un sistema distribuito di servizi Web per l'accesso all'informazione sulla tutela delle acque.

La seconda fase dello stage ha avuto l'obiettivo di capire come possa essere reingegnerizzato il SINTAI per far fronte ai requisiti posti dalla normativa europea in materia delle acque, anche in virtù della futura integrazione del WISE al SEIS. L'evoluzione del SINTAI proposta si basa sull'uso di un'architettura applicativa basata su SOA che renda disponibili i servizi Web per la fruizione e la gestione dei dati cartografici e analitici provenienti da sorgenti differenti, e che consenta l'interoperabilità dei sistemi cartografici con altri sistemi e applicazioni non dedicate alla cartografia. In particolare, nel Capitolo 7, abbiamo discusso alcuni aspetti legati all'uso dei servizi Web per accedere in maniera uniforme alla tutta l'informazione sotto forma di dati, mappe e documenti nel SINTAI. Conseguentemente, nel Capitolo 8 abbiamo analizzato come i servizi Web possano essere utilizzati in combinazione con i GIS, studiando in particolare come debba evolvere la tecnologia dei GIS.

Il ristretto tempo a disposizione ci ha permesso di evidenziare solo in minima parte le problematiche tecnologiche scaturite dallo dell'evoluzione del SINTAI. Tali problematiche si inseriscono in un quadro ben più ampio che riguarda la costruzione di un'infrastruttura distribuita che consenta l'accesso e la condivisione delle informazioni geografiche tra varie istituzioni nonché l'interoperabilità tra i sistemi cartografici e i sistemi non cartografici. Concludiamo questo documento fornendo delle indicazioni su come sia possibile continuare l'attività che abbiamo svolto durante lo stage. In particolare, possiamo indicare due direzioni di lavoro per il futuro. Da un lato, a livello di ricerca, si può continuare ad approfondire il problema della definizione dei servizi GIS secondo la specifica W3C, contribuendo così anche al processo di standardizzazione iniziato dall'OGC nell'ambito del framework OWS. Come evidenziato nel Capitolo 8, ciò comporta

l'elaborazione di un opportuno XML Schema di riferimento per la descrizione dei parametri di input e output dei servizi come messaggi SOAP. Dall'altro lato, l'ISPRA può iniziare a realizzare un prototipo per il SINTAI che consenta di sperimentare un'architettura basata su servizi Web per l'accesso alle informazioni sulla tutela delle acque, sulla base del modello fornito nella Sezione 7.2. Osserviamo come anche in questo caso vi siano delle questioni tecniche da risolvere, quali ad esempio come combinare in un documento XML dati cartografici (eventualmente codificati in GML) e dati analitici. Per fare ciò sarà dunque necessario lavorare ancora a livello di XML Schema al fine di definire il formato di riferimento per i dati restituiti dal SINTAI come risultato dell'interrogazione del sistema.

Bibliografia

- [1] <http://www.isprambiente.it/>, 2009.
- [2] Decreto Legislativo n. 152 del 11 maggio 1999: *Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.*
- [3] Decreto Legislativo n. 152 del 3 aprile 2006: *Norme in materia ambientale.*
- [4] The EU Water Framework Directive 2000/60.
- [5] Direttiva 91/271/CEE del Consiglio, del 21 maggio 1991, concernente il trattamento delle acque reflue urbane.
- [6] Direttiva 91/676/CEE del Consiglio del 12 dicembre 1991 relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.
- [7] Direttiva 76/464/CEE del Consiglio del 4 maggio 1976 concernente l'inquinamento provocato da certe sostanze pericolose scaricate nell'ambiente idrico della Comunità.
- [8] Decreto Ministeriale n. 198 del 18 settembre 2002, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio: *Modalità di informazione sullo stato di qualità delle acque, ai sensi dell'art. 3, comma 7, del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 52.*

- [9] Decreto Ministeriale n. 152 del 19 agosto 2003, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio: *Modalità di trasmissione delle informazioni sullo stato di qualità dei corpi idrici e sulla classificazione delle acque.*
- [10] <http://www.opengeospatial.org/>, 2009.
- [11] <http://www.w3.org/>, 2009.
- [12] W3C. SOAP Version 1.2 Part 1: Messaging Framework (Second Edition), April 2007. <http://www.w3.org/TR/soap12-part1/>.
- [13] W3C. Web Services Description Language (WSDL) 1.1, March 2001. <http://www.w3.org/TR/wsdl/>.
- [14] W3C. Web Services Description Language (WSDL) Version 2.0 Part 0: Primer, June 2007. <http://www.w3.org/TR/wsdl20-primer/>.
- [15] W3C. Web Services Description Language (WSDL) Version 2.0 Part 1: Core Language, June 2007. <http://www.w3.org/TR/wsdl20/>.
- [16] W3C. Web Services Description Language (WSDL) Version 2.0 Part 2: Adjuncts, June 2007. <http://www.w3.org/TR/wsdl20-adjuncts/>.
- [17] OASIS. UDDI Version 2.04 API Specification, July 2002. http://uddi.org/pubs/ProgrammersAPI_v2.htm.
- [18] F. Curbera, Y. Golland, J. Klein, F. Leyman, D. Roller, S. Thatte, and S. Weerawarana. Business Process Execution Language for Web Services (BPEL4WS 1.0), 2002.
- [19] OASIS. Web Service Business Process Execution Language Version 2.0, 2007. <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/OS/wsbpel-v2.0-OS.html>.
- [20] Decreto Legislativo n. 258 del 18 agosto 2000: *Disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, a norma dell'articolo 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n. 128.*

- [21] Decreto Ministero Ambiente 17 luglio 2009. *Individuazione delle informazioni territoriali e modalità per la raccolta, lo scambio e l'utilizzazione dei dati necessari alla predisposizione dei rapporti conoscitivi sullo stato di attuazione degli obblighi comunitari e nazionali in materia di acque (GUE n. 203 del 2/9/2009).*
- [22] <http://grass.itc.it/>, 2009.
- [23] <http://www.qgis.org/>, 2009.
- [24] <http://mapguide.osgeo.org/>, 2009.
- [25] <http://www.esri.com/>, 2009.
- [26] <http://www.intergraph.com/>, 2009.
- [27] <http://www.pbinsight.com/>, 2009.
- [28] ArcGIS 9.3, Che cos'è ArcGIS 9.3? available at <http://www.esriitalia.it>, 2008. Titolo originale What is ArcGIS 9.3?, Traduzione di Antonio Patera.
- [29] <http://earth.google.com/>, 2009.
- [30] <http://maps.google.com/>, 2009.
- [31] <http://maps.yahoo.com/>, 2009.
- [32] <http://www.bing.com/maps/>, 2009.
- [33] OGC. OpenGIS Web Map Service (WMS) Implementation Specification, 2009. <http://www.opengeospatial.org/standards/wms/>.
- [34] OGC. OpenGIS Web Feature Service (WFS) Implementation Specification, 2009. <http://www.opengeospatial.org/standards/wfs/>.
- [35] OGC. OpenGIS Catalogue Service Implementation Specification, 2009. <http://www.opengeospatial.org/standards/cat>.

-
- [36] OGC. OpenGIS Geography Markup Language (GML) Encoding Standard, 2009. <http://www.opengeospatial.org/standards/gml>.
- [37] <http://mapserver.org/>, 2009.
- [38] <http://geoserver.org/>, 2009.
- [39] <http://www.oasis-open.org>, 2009.
- [40] Infrastructure for Spatial Information in Europe Directive 2007/2/EC.
- [41] ESRI. Spatial Data Standards and GIS Interoperability. White Paper, CA, USA, 2003.
- [42] K. Kolodziej. OGC's WMS Cookbook. The Open Geospatial Consortium, Wayland, MA, USA, 2004.
- [43] A. Sayar, M. Aktas, G. Aydin, M. Pierce, and G. Fox. Developing a Web Service-Compatible Map Server for Geophysical Applications. Technical report, Indiana University, Indiana, USA, 2005.
- [44] OGC. OGC Web Services, Phase 7, 2009. <http://www.opengeospatial.org/projects/initiatives/ows-7>.
- [45] L. Bernard. Experiences from an Implementation Testbed to Set up a National SDI. In *Proc. of 5th of the Association of Geographical Information Laboratories in Europe (AGILE)*, Palma, Spain, 2002.
- [46] The Canadian Geospatial Data Infrastructure, Access Technical Services manual (version 1.1. Available at <http://cgdi.gc.ca/english/technical>.
- [47] A. Sayar, M. Pierce, and G. Fox. OGC Compatible Geographical Information Services. Technical report, Indiana University, Indiana, USA, 2005.
- [48] G. Ayding. *Service Oriented Architecture for Geographic Information Systems Supporting Real Time Data Grids*. Ph.d. thesis, Indiana University, Indiana, USA, 2007.

-
- [49] J. Sonnet and C. Savage. OWS 1.2 SOAP Experiment Report. OGC Discussion Document OGC 03-014, OGC, 2003.
- [50] J. Lieberman, L. Reich, and P. Vretanos. OWS1.2 UDDI Experiment. OGC Discussion Document OGC 03-028, OGC, 2003.
- [51] A. Sayar, M. Pierce, and Fox G. Developing GIS Visualization Web Services for Geophysical Applications. In *ISPRS - Spatial Data Mining Workshop*, Ankara, Turkey, 2005.
- [52] http://schemas.opengis.net/wms/1.3.0/capabilities_1_3_0.xsd.
- [53] <http://schemas.opengis.net/wfs/1.1.0/wfs.xsd>.