

Tecnologie semantiche e interoperabilità INSPIRE

Corrado Iannucci

AMFM – GIS Italia, c/o Università degli studi di Salerno - Dipartimento di Informatica, Via Giovanni Paolo II 132, 84084 Fisciano (SA)

corrado.iannucci@gmail.com

Riassunto

Le tecnologie semantiche afferenti al web 3.0 appaiono offrire grandi potenzialità, in quanto rendono disponibili nuovi approcci per l'interoperabilità di dati e di servizi di diversa fonte. Pertanto, risultano di interesse specificamente per i geodati, potendo condurre a un'evoluzione delle *Spatial Data Infrastructures*.

Tuttavia, il panorama risulta ancora variegato e l'adozione di queste tecnologie (che si sono consolidate quando INSPIRE aveva già formalizzato le sue *Implementing Rules*) richiede ancora alcune cautele.

Nel testo, viene tratteggiato come l'interoperabilità di dati e di servizi possa innestarsi nel web 3.0, i cui principali standard sono richiamati. In particolare, si evidenzia il possibile impatto delle tecnologie semantiche sul processamento dei geodati. Pur in presenza di voci discordi sul futuro, è riconoscibile un chiaro *trend* di adozione di queste tecnologie, anche in riferimento ad INSPIRE.

Abstract

Semantic technologies, pertaining to the web 3.0, appear to be potentially of large interest, specifically as far as data and service interoperability can rely upon new tools. Accordingly, such technologies are of interest to retrieve and process geodata, as an eventual evolution of the *Spatial Data Infrastructures*. However, the landscape is varied and adopting such technologies (consolidated when INSPIRE had already released its *Implementin Rules*) still requires some caution.

This paper shows how data and service interoperability fits in the web 3.0, whose main standards are mentioned. Specifically, the expected impact of semantic technologies upon geodata processing is commented. Even if there is a lack of an agreed and shared position, a definite trend in adopting such technologies can currently be pointed out, also with reference to INSPIRE.

Introduzione

Le tecnologie semantiche, afferenti al Web 3.0 (web dei dati o web semantico), si sono sviluppate sostanzialmente dopo il consolidarsi del concetto di *Data Infrastructure*, con uno scarto temporale stimabile in circa un decennio. Questo intervallo è stato, da un lato, sufficientemente ampio da far sì che queste tecnologie non comparissero nelle iniziali *Implementing Rules* della Direttiva INSPIRE e, dall'altro lato, abbastanza contenuto per catturare l'attenzione

verso queste stesse tecnologie anche da parte di chi è impegnato ad applicare le prescrizioni INSPIRE nel concreto.

Inoltre, l'impulso di INSPIRE sull'interoperabilità dei geodati ambientali spinge ad replicare l'approccio delle *Data Infrastructures* anche ad altri settori del patrimonio informativo pubblico. Di conseguenza, emergono rilevanti potenzialità di condivisione e riuso dei dati, a fronte delle quali le soluzioni tecniche concordate in INSPIRE possono risultare parzialmente superate o, comunque, in alternativa ad altre soluzioni che appaiono in grado di supportare similmente l'adempimento dei requisiti posti dagli *stakeholders* di riferimento (amministrazione, imprese, cittadini). Ciò crea la necessità di una adeguata estensione degli approcci all'interoperabilità dei dati. In questa classe di problemi, le tecnologie semantiche possono avere un ruolo significativo. Risulta pertanto utile delineare alcuni aspetti di queste tecnologie in riferimento alle *Data Infrastructures* e in particolare alla *Spatial Data Infrastructure* di INSPIRE. Necessariamente, il quadro che ne risulta presenta una situazione che è ancora in evoluzione (dal punto di vista non solo tecnico ma anche normativo) ma che al tempo stesso comprende aspetti di grande interesse.

Posizione del problema

Per fissare le idee, è utile partire dal ben noto fenomeno delle "isole di dati": grandi volumi di dati vengono raccolti (spesso con forti investimenti pubblici) ma il risultato è pienamente utile solo all'interno dell'entità organizzativa di riferimento. Ciò è vero in particolare per i dati territoriali o spaziali (o anche, sinteticamente, geodati), definiti come *dati che attengono, direttamente o indirettamente, a una località o un'area geografica specifica* (INSPIRE, 2007) o anche come *qualunque informazione geograficamente localizzata* (RNDT, 2011).

Entità organizzative differenti raccolgono dati in relazione a oggetti sia specifici (ad esempio, la copertura del suolo oppure la fenologia, ai fini delle statistiche agricole) sia di interesse più generale (ad esempio, le reti stradali interessano contemporaneamente chi si occupa di trasporti e chi pianifica il territorio). Tuttavia, molto spesso, la diversità degli scopi e dei metodi di raccolta e trattamento fa sì che i dati, anche se riferiti allo stesso fenomeno, non siano usualmente condivisibili.

Quanto sopra ricordato comporta la moltiplicazione dei costi di impianto e di gestione di basi dati. Per contrastare queste perdite di efficienza e di efficacia, si è sviluppato il concetto di *infrastruttura di dati*, definibile come l'insieme degli interventi normativi e tecnici che vanno predisposti per assicurare l'individuazione e il riuso dei dati (di qualunque natura), al di là del contesto organizzativo di origine. Sostanzialmente, gli insiemi di dati di comune interesse vengono condivisi mediante il ricorso a metadati e a schemi dati accettati dalle varie entità organizzative che si federano nell'infrastruttura di dati.

L'applicazione concreta di questo concetto ai geodati può farsi risalire al metà degli anni novanta (NSDI, 1994); in Europa, come noto, ha portato ad INSPIRE, la cui Direttiva 2007/2/EC prescrive la costituzione di una *infrastruttura per l'informazione territoriale* (usualmente denominata *spatial data infrastructure* - SDI) a livello europeo, appoggiata alle omologhe SDI dei

singoli Stati membri dell'Unione Europea. Questa Direttiva è stata recepita in Italia nel 2010 (DL32, 2010).

Il contesto tecnico delle infrastrutture dei dati è quello delle basi dati federate; l'elemento fondante è l'interoperabilità, definita in INSPIRE come *la possibilità per i set di dati [territoriali] di essere combinati, e per i servizi di interagire, senza interventi manuali ripetitivi, in modo che il risultato sia coerente e che il valore aggiunto dei set di dati e dei servizi ad essi relativi sia potenziato.*

INSPIRE è indirizzata al dominio concettuale (*domain of knowledge*) della gestione dell'ambiente; la sua realizzazione (a circa venti anni dalla sua ideazione) costituisce un esempio importante di cosa un'infrastruttura di dati sia nel concreto.

Di fatto, approcci molto simili sono stati previsti anche fuori del contesto ambientale e stanno interessando altri domini dell'economia europea nell'ambito del programma IDA² (*Interoperability solutions for public administrations, businesses and citizens*) (https://ec.europa.eu/isa2/home_en) e, in particolare, delle sue azioni EIA (*European Interoperability Architecture*) ed ELISE (*European Location Interoperability Solutions for e-Government*); IDA² prosegue due azioni connesse con INSPIRE: EULF (*European Union Location Framework*) e ARE3NA (*A Reusable INSPIRE Reference Platform*).

Ciò conferma sia la validità dell'approccio INSPIRE (come concretizzato nelle sue *Implementing Rules*) sia la fattibilità in generale delle infrastrutture di dati. E' opportuno notare che INSPIRE, per il suo ruolo di precursore, ha dovuto standardizzare la descrizione anche di categorie tematiche non specificamente (o non unicamente) di interesse ambientale.

Tuttavia, emergono due problematiche:

1. In senso stretto, l'approccio INSPIRE all'interoperabilità risolve il problema dell'incomunicabilità tra i silos di dati all'interno di uno stesso dominio concettuale ma rischia di condurre (per quanto possa sembrare paradossale) all'incomunicabilità tra domini concettuali differenti. Se ogni dominio predispone i suoi schemi dati su base normativa in funzione delle sue necessità e se, al tempo stesso, questi schemi si riferiscono a categorie tematiche di interesse anche per altri domini, per ognuna di queste categorie si produce una molteplicità non necessaria di modellizzazioni, ciò che costituisce un ostacolo esplicito all'interoperabilità e al riuso dei dati.
2. Inoltre, come evidenziato dalla stessa definizione di interoperabilità (più sopra riportata) l'approccio INSPIRE è rivolto alla gestione di *dataset* cioè di insiemi di dati omogenei; in particolare, la metadattazione si concretizza in un documento XML che descrive caratteristiche e condizioni di uso di ogni singolo *dataset*. Da questo punto di vista, INSPIRE si posiziona metodologicamente all'interno del Web 2.0 (web dei documenti): ciò non può stupire, se si ricorda che l'iniziativa è stata lanciata in pieni anni Novanta. Conseguentemente, il motore di ricerca di un portale indicizza l'informazione a livello dei dataset, che risultano adeguatamente reperibili; tuttavia, le funzionalità di selezione ed elaborazione dei singoli dati (o di loro insiemi comunque delimitati) sono in principio (anche se non esclusivamente) a carico di altri strumenti.

Nel caso più generale, l'interoperabilità deve esistere anche tra *domain of knowledge* diversi e quindi tra infrastrutture di dati non precedentemente federate: ciò rende insufficiente l'insieme di strumenti sia tecnici sia soprattutto normativi solitamente associati ad una infrastruttura di dati.

Le tecnologie semantiche

All'interno di una singola infrastruttura di dati come quella di INSPIRE la semantica dei dati stessi è stabilita dalle regole federative che l'infrastruttura stessa rende obbligatorie. Al contrario, quando si tratta di dati di diversi domini o anche di diverse infrastrutture, è necessario trasmettere la semantica esplicitamente. Qui intervengono le tecnologie del Web 3.0.

A metà degli anni Novanta, quando il concetto di SDI ha già le sue prime applicazioni concrete, si inizia a discutere delle potenzialità del web dei dati (Berners-Lee, 1998). Il web dei dati trova la sua descrizione di riferimento in Berners-Lee et al. (2001); il suo decollo può farsi coincidere con il 2007, anno di avvio del progetto *Linking Open Data* a cura del W3C (World Wide Web Consortium). Una sintesi autorevole di questi sviluppi è disponibile in Bizer et al. (2011).

La documentazione del progetto *Linking Open Data* è disponibile a <http://www.w3.org/wiki/SweoIG/TaskForces/CommunityProjects/LinkingOpenData>. Nel seguito di questo testo, sulla base delle norme europee in materia di condivisione e riuso del patrimonio informativo, si farà riferimento ai dati pubblicati sul web come *linked open data* (LOD), anche se in generale quanto esposto non è condizionato dalla licenza di rilascio dei dati stessi.

Una esposizione di dettaglio delle tecnologie semantiche è disponibile su https://www.w3.org/2001/sw/wiki/Main_Page. Utili riferimenti sono reperibili in Heath e Bizer (2011). Le conferenze SEMIC, organizzate annualmente dal programma IDA², espongono l'avanzamento delle applicazioni di queste tecnologie a supporto dell'interoperabilità.

L'evoluzione dal Web 2.0 al Web 3.0 consiste essenzialmente nel passaggio da documenti (il cui contenuto è descritto dai metadati ed è leggibile dagli utenti) a dati (il cui significato è veicolato esplicitamente ed è interpretabile dal software). Come risultato, i dati (e non solo i dataset) possono essere individuati ed elaborati automaticamente e indipendentemente dalla effettiva struttura che li detiene: è immediato rilevare che questa ultima frase è uno dei modi possibili per esprimere il concetto di interoperabilità.

Il punto di interesse è che, a differenza delle infrastrutture di dati di tipo "tradizionale", l'interoperabilità basata sulle tecnologie semantiche in principio non richiede ai partecipanti all'infrastruttura di definire accordi preventivi per trasformazioni di dati o *mapping* tra schemi.

Questo punto è vero sotto una precisa condizione: la disponibilità di vocabolari (intesi come liste di termini univocamente definiti) e di ontologie (descriventi le mutue relazioni tra i termini di ogni vocabolario). Vocabolari e ontologie sono ormai disponibili come dati open e quindi sono validati dal consenso degli utenti. Tuttavia, il loro uso richiede alcune cautele, in riferimento principalmente alla loro precisione e accuratezza; l'accertamento della qualità è una tematica ancora aperta: Zaveri et al. (2016) presentano una estesa *survey*

delle metodologie di potenziale interesse; inoltre, la fusione di vocabolari di fonte diversa solleva problematiche pratiche e logiche (Feeney et al. 2018).

Una fonte di riferimento per la disponibilità di schemi RDF e vocabolari è dato da <https://lov.linkeddata.es/dataset/lov/>. Se si fa ricorso ad essi per impiantare o estendere una infrastruttura di dati, si minimizza la necessità di investire risorse per concordarne l'articolazione con i partner della infrastruttura stessa. Ciò è possibile in quanto l'accettazione di questi vocabolari e ontologie (come dimostrato dal loro uso in rete) sostituisce gran parte del laborioso processo di negoziazione normativa che in passato è apparso inevitabile nella formazione di una infrastruttura dati.

Il panorama delle ontologie e dei vocabolari è sempre in continuo aggiornamento. Non risulta per ora una directory globale di pieno affidamento e completa copertura (in termini di contenuto e di strumenti di ricerca) ma ci si può aspettare che il panorama cambi a breve.

L'Agenzia per l'Italia Digitale dedica molta attenzione all'adozione e all'uso dei LOD, come risulta da vari documenti di indirizzo (AgID 2012, AgID 2014, AgID 2016). Per l'Italia è disponibile un elenco di ontologie e vocabolari controllati (<https://github.com/italia/daf-ontologie-vocabolari-controllati>); di particolare interesse è l'ontologia del profilo nazionale di metadatozione (DCAT-AP_IT - *Italian Application Profile for metadata*) (AgID, 2017).

L'ammontare dei set di LOD disponibili in rete è esposto su <https://lod-cloud.net/> ove tra il 2007 e il 2018 il numero di questi set registrati è passato da 12 a 1224; essendo il processo di registrazione su base volontaria, queste cifre costituiscono una valutazione conservativa di quanto presente sul web.

Nello specifico, le tecnologie semantiche utilizzano principalmente i seguenti standard:

- RDF (*Resource Description Framework*): fornisce il modello per lo scambio di dati sul web; questo modello (basato su triple di *soggetto / predicato / oggetto* ed esprimibile come un grafo) consente di connettere dati appartenenti a strutture differenti (ad es. relazionali o tabulari) e, inoltre, disaccoppia le evoluzioni di queste strutture dal software di elaborazione; si basa sugli standard XML e URI; ammette la serializzazione in vari formati (RDF/XML, RDFa, Turtle, N-Triples, RDF/JSON);
- OWL (*Web Ontology Language*), RDFS (*RDF Schema*) e SKOS (*Simple Knowledge Organization System*): permettono di esprimere la semantica degli elementi del modello RDF; estendono RDF esplicitando le gerarchie e le reciproche relazioni esistenti tra gli elementi descritti, in termini di ontologie, tassonomie e vocabolari;
- SPARQL (*SPARQL Protocol and RDF Query Language*): è un linguaggio (con ovvie analogie al SQL) per interrogare fonti di dati diverse e elaborare dati esposti in accordo con il modello RDF.

Come d'uso, ogni nuovo sviluppo tecnologico suscita grandi aspettative ma anche, quando queste tardano ad essere soddisfatte, grandi delusioni. Nel caso delle tecnologie semantiche, si veda il recente post <https://twobithistory.org/2018/05/27/semantic-web.html>, che posizionerebbe queste tecnologie nella "valle della disillusione" sul celebre grafico del modello descrittivo (il cosiddetto *Hype Cycle*, qui riportato in fig. 1) sviluppato dal

Gartner Group (<https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>).

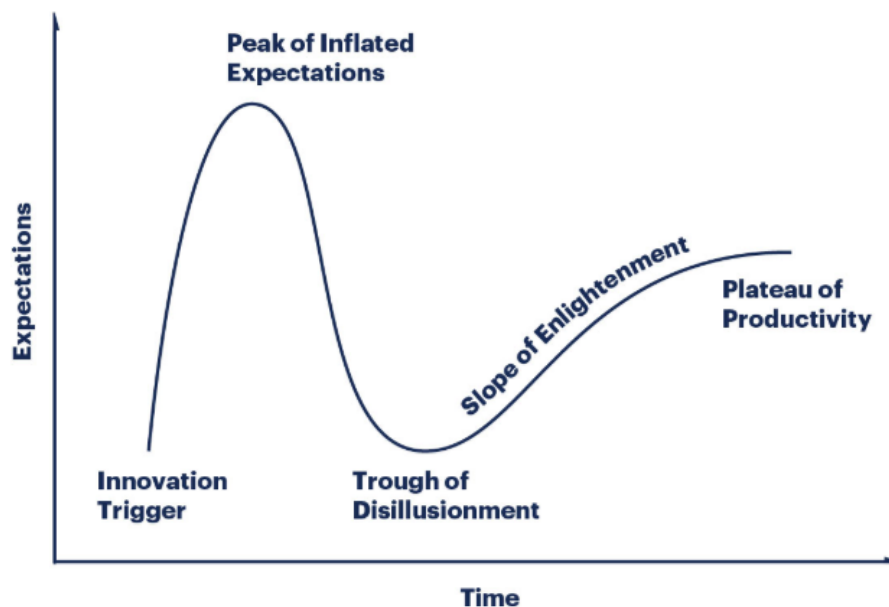


Figura 1- Hype Cycle (fonte: Gartner Group)

Altri elementi di incertezza sono aggiunti dall'evoluzione dei grandi motori di ricerca (da Google in poi), che includono da tempo elementi di semantica nelle loro indicizzazioni. Con questa concorrenza (supportata da poderosi modelli di business), l'utilità di ricorrere a soluzioni generali "dal basso" per i linked data può apparire marginale.

I geodati e le tecnologie semantiche

Se in generale le delusioni (a volte anche radicali) accennate più sopra possono essere in parte condivise, tuttavia quando ci si focalizza sul tema delle infrastrutture di dati (spaziali, in particolare) il quadro appare più positivo: sull'argomento, si vedano Egenhofer (2002) nonché Schade e Smits (2012).

Da tempo, l'attenzione di chi opera con i geodati è stata catturata dalle tecnologie semantiche, come si desume ad esempio dall'ampia (anche se ormai datata) *survey* di Albrecht et al. (2008) nonché dai riferimenti ad INSPIRE di Schade e Lutz (2010).

Questa attenzione è motivata dalla aspettativa di rendere più efficiente non tanto la creazione di una SDI (a questo provvedono le norme INSPIRE) quanto i processi di inclusione di nuovi partecipanti nella SDI (riducendo l'impegno delle trasformazioni di dati) e soprattutto di interfacciamento con altre infrastrutture di dati.

RDF e le altre tecnologie semantiche presentano caratteristiche adeguate a questo scopo. Kuhn et al (2014) evidenziano come le tecnologie semantiche offrano la possibilità di approcciare i geodati in modalità nuove; in precedenza Kuhn (2005) aveva analizzato le problematiche della semantica dei geodati, nel contesto della interoperabilità semantica in riferimento non ai soli dati ma anche ai servizi (visti come l'unione di funzionalità e di dati).

Va chiarito che non si tratta di demolire la SDI di INSPIRE come oggi la conosciamo: al contrario, il patrimonio (di dati e di servizi) che INSPIRE ha reso disponibile acquisisce una maggiore rilevanza esplicitandone la semantica. Si può ragionevolmente prevedere che, in futuro, le tecnologie abilitanti delle funzionalità dei servizi non saranno basate solo sullo standard SOAP ma includeranno sempre più soluzioni REST in affiancamento (Adamczyk et al, 2011); d'altra parte, il modello relazionale resterà prevalente nel campo dell'archiviazione dei dati.

Si rileva che in una tavola relazionale ogni elemento si può esprimere con la tripla <chiave_univoca> <nome_attributo> <valore>, mentre in RDF si ha la tripla <soggetto> <predicato> <oggetto>. Senza dover entrare nei particolari (basti notare che il valore di un attributo relazionale può essere anche una *foreign_key* e che in RDF l'oggetto può contenere una URI), si ha una corrispondenza tra elementi della tavola relazionale e nodi del grafo RDF; conseguentemente, la trasformazione da schemi relazionali a grafi RDF risulta diretta. La tematica è stata analizzata, su impulso del Programma IDA, da Archer et al. (2013).

Questa trasformazione, usualmente riferita come *mapping RDB2RDF*, è un prerequisito frequente, data la diffusa presenza dei database relazionali. Vincoli, possibilità ed efficacia di trasformazioni automatiche sono stati oggetto di uno specifico working group del W3C (<https://www.w3.org/2001/sw/rdb2rdf/>), conclusosi nel 2012 con il rilascio di due linguaggi: *Direct Mapping* (DM) e *RDB2RDF Mapping Language* (R2RML). In rete (<https://github.com/timrdf/csv2rdf4lod-automation/wiki/Alternative-Tabular-to-RDF-converters>) sono disponibili varie soluzioni realizzative. Le problematiche di accertamento della qualità di queste trasformazioni sono esposte da Tarasowa et al. (2015).

Dal punto di vista normativo:

- l'Open Geospatial Consortium ha definito una estensione di SPARQL orientata alle interrogazioni georeferenziate (OGC, 2012);
- INSPIRE nell'ambito del Progetto ARE3NA ha prodotto (ad oggi ancora nello stato di *draft*) un documento di linee guida per la rappresentazione di geodati in RDF (INSPIRE, 2017);
- l'International Organization for Standardization ha rilasciato uno standard per lo sviluppo di ontologie di geodati in OWL (ISO19150, 2015) nonché ha definito una metodologia per il mapping reciproco di vocabolari semantici (ISO19146, 2018).

Sono disponibili vari insiemi di geodati pubblicati come LOD (es. *LinkedGeoData* <http://linkedgeodata.org>) nonché ontologie (es. *Geonames* <http://www.geonames.org/ontology/documentation.html>) e vocabolari (es. *WGS84 Geo Positioning* <http://www.w3.org/2003/01/geo/>).

E' possibile prevedere che in futuro il maggior contributo delle tecnologie semantiche consisterà nel permettere l'erogazione di servizi che utilizzano dati da SDI diverse; l'efficientamento "interno" delle SDI *legacy* è di certo possibile, ma non sembra prioritario. La realizzazione di servizi mediante la fusione di dati di diversa fonte è trattata in dettaglio da Wiemann e Bernard (2016).

Conclusioni

Inevitabilmente, la formalizzazione e l'applicazione di una Direttiva e delle sue norme collegate sconta un ritardo temporale rispetto all'avanzamento delle tecnologie abilitanti e, più in generale, all'individuazione di percorsi di medio-lungo periodo per la cooperazione tra i Paesi dell'Unione Europea. Ciò è riscontrabile anche per INSPIRE, la cui concretizzazione è avvenuta parallelamente agli sviluppi del web semantico e all'avvio delle altre iniziative di interoperabilità sopra accennate. La presenza di un ritardo temporale tra tecnologia prescritta e tecnologia disponibile è in qualche modo "fisiologica" ad ogni sviluppo e non va considerata come un ostacolo bloccante. Si pensi ad esempio allo sfasamento iniziale degli standard SPC rispetto ai requisiti INSPIRE (Dell'Amico et al., 2009) oppure anche al poco spazio che le iniziali *Implementing Rules* dedicano a REST, rispetto all'architettura SOA.

Nella pratica operativa, in conseguenza di questo sfasamento possono sorgere perplessità nell'adottare per i dati spaziali specifiche soluzioni tecnico-normative che da un lato sono prescritte mentre dall'altro appaiono essere in via di superamento per la pluralità dell'informazione in rete. È sempre opportuno quindi riflettere sullo stato attuale di altri possibili approcci alla condivisione dei dati, in modo tale da coglierne gli aspetti caratteristici (utilizzabili in futuro) rispetto alle normative tecniche (da adempiere nel presente) e comunque da gestirne ragionevolmente i problemi di coesistenza e di transizione.

Va sottolineato che gli iniziali sviluppi normativi (citati più sopra) non sono ancora inclusi in *Implementing Rules* vincolanti. Al momento, l'eventuale adozione di tecnologie semantiche in INSPIRE passa prevalentemente per il tramite di conversioni e trasformazioni (comunque già ammissibili in INSPIRE tradizionale) tra dati interni e dati condivisi in rete. In questo scenario (dati gestiti in RDF all'interno e visibili come relazionali all'esterno), il servizio di trasformazione dedicato andrebbe ubicato idealmente sulla porta di dominio SPC della singola fonte.

Tutto ciò, e in particolare lo sfasamento tra norme e realizzazioni, per produrre benefici agli *stakeholders* comporta:

- collaborazione tra competenze e culture tecniche diverse, superando anche la gergalità specialistica;
- coordinamento tra pubblica amministrazione, imprese e cittadini, nel rispetto di ruoli e nel riconoscimento delle aspettative;
- focalizzazione sull'erogazione dei servizi, evitando derive tecnologiche fini a se stesse.

A questo fine, un problema specifico è la disponibilità di capacità produttive nel sistema Italia. Questa disponibilità è legata strettamente sia alla formazione universitaria (che deve recepire le innovazioni tecnologiche con sfasamenti minimi) sia alla riqualificazione periodica dei *professionals* (in passato assicurata dalle imprese medio-grandi e quindi ora da ripensare, nell'attuale panorama di micro e piccole imprese).

Tuttavia, la sola disponibilità di capacità produttive può non bastare. Con riferimento in particolare all'ultimo punto sopra esposto, appare necessario il miglioramento della gestione dei progetti ICT, sia dal lato del committente sia dal lato del fornitore: la storia delle realizzazioni ICT in Italia (ma non solo) è

piena di esempi di squilibri di competenze tra committente e fornitore che hanno avuto impatti negativi sulla qualità globale del prodotto finale.

Bibliografia

Adamczyk P., Smith P. H., Johnson R. E., Hafiz M. (2011). "REST and web services: in theory and in practice". In: E. Wilde and C. Pautasso (eds.), *REST: from research to practice* (pp. 35 – 57). Springer, Berlin DE

AgID (2012), *Linee guida per l'interoperabilità semantica attraverso i linked open data*. Commissione di coordinamento SPC, Agenzia per l'Italia Digitale, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Roma

AgID (2014), *Linee guida nazionali per la valorizzazione del patrimonio informativo pubblico (anno 2014)*, Agenzia per l'Italia Digitale, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Roma

AgID (2016), *Linee guida nazionali per la valorizzazione del patrimonio informativo pubblico (anno 2016)*, Agenzia per l'Italia Digitale, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Roma

AgID (2017), *Linee guida per l'implementazione della specifica GeoDCAT-AP GeoDCAT-AP_IT, v.1.0*, Agenzia per l'Italia Digitale, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Roma

Albrecht J., Derman B., Ramasubramanian L. (2008), "Geo-ontology tools: the missing link", *Transactions in GIS*, 12(4): 409–424

Archer P, Loutas N, Goedertier S (2013). *D8.9.1 - Cookbook for translating relational data models to RDF Schemas* (SC6DI06692), ISA Programme, Brussels BE

Berners-Lee T. (1998), "Semantic Web road map". Online: <https://www.w3.org/DesignIssues/Semantic.html>.

Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O. (2001), "The Semantic Web", *Scientific American* 284: 34–43

Bizer C., Heath T., Berners-Lee T. (2011), "Linked data: the story so far". In: *Semantic services, interoperability and web applications: emerging concepts* (pp. 205–227). IGI Global, Hershey PA

Bizer, C., Heath, T. (2011), *Linked data: evolving the web into a global data space* (1st edition). Synthesis Lectures on the Semantic Web: Theory and Technology, Morgan & Claypool, San Rafael CA

DL32 (2010), "Decreto legislativo 27 gennaio 2010, n. 32: Attuazione della direttiva 2007/2/CE, che istituisce un'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea (INSPIRE)", *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana* n. 56 del 9 marzo 2010, S.O. n. 47/L

Egenhofer M. J. (2002), "Towards the semantic geospatial web". In: Voisard A., Shu-Ching Chen (eds.) *Proceedings of GIS'02*, 10th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (November 8-9, 2002, McLean VA), Association for Computing Machinery, New York NY

Dell'Amico L., Iannucci C., Marinelli M., Sambucini V. (2009), "I servizi di rete INSPIRE e il Sistema Pubblico di Cooperazione SPCoop: aspetti tecnologici e realizzativi", *Italian Journal of Remote Sensing*, 41 (2): 21-32

- Feeney K. C., Mendel Gleason G., Brennan R. (2018), "Linked data schemata: fixing unsound foundations", *Semantic Web*, 9 (1): 53-75
- INSPIRE (2007), "Direttiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 14 marzo 2007 che istituisce un'Infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea (INSPIRE)", *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, L 108/1
- INSPIRE (2017), *Guidelines for the RDF encoding of spatial data* (draft 17-07-2017). Online: <http://inspire-eu-rdf.github.io/inspire-rdf-guidelines>
- ISO19150 (2015), *Geographic information -- Ontology -- Part 2: Rules for developing ontologies in the Web Ontology Language (OWL)*, ISO 19150-2:2015. Online: <https://www.iso.org/standard/57466.html>
- ISO19146 (2018), *Geographic information — Cross-domain vocabularies*, ISO 19146:2018. Online: <https://www.iso.org/standard/72217.html>
- Kuhn W. (2005), "Geospatial semantics: why, of what, and how?". In: Spaccapietra S., Zimányi E. (eds.) *Journal on Data Semantics III*, Lecture Notes in Computer Science, vol 3534, Springer, Berlin / Heidelberg DE
- Kuhn W., Kauppinen T., Janowicz K. (2014), "Linked data - a paradigm shift for geographic information science". In: Duckham M., Pebesma E., Stewart K., Frank A.U. (eds.) *Geographic Information Science*. GIScience 2014. Lecture Notes in Computer Science, vol 8728. Springer, Cham CH
- NSDI (1994), *Executive Order 12906: coordinating geographic data acquisition and access: The National Spatial Data Infrastructure, signed by President Bill Clinton on April 11, 1994*, Federal Register, April 13, 1994, 59(71), pp. 17671-17674
- OGC (2012), *GeoSPARQL – A geographic query language for RDF data*. OpenGIS Standard, Open Geospatial Consortium. Online: <http://www.opengeospatial.org/standards/geosparql>
- RNDT (2011), "Decreto 10 novembre 2011 del Ministro per la Pubblica Amministrazione e l'Innovazione: Regole tecniche per la definizione del contenuto del Repertorio nazionale dei dati territoriali, nonché delle modalità di prima costituzione e di aggiornamento dello stesso", *G. U. Repubblica Italiana* n. 48 del 27 febbraio 2012, SO n. 37
- Schade S., Lutz M. (2010), "Opportunities and challenges for using Linked Data in INSPIRE". In: *Workshop On Linked Spatiotemporal Data*, in conjunction with the 6th Int. Conf. on Geographic Information Science (GIScience 2010), Zurich, 14 September 2010. Online: <http://stko.geog.ucsb.edu/lstd2010/paper%208.pdf>
- Schade S., Smits P. (2012), "Why linked data should not lead to next generation SDI". In: *Geoscience and remote sensing symposium (IGARSS)*, 2894–2897, IEEE
- Tarasowa D., Lange C., Auer S. (2015), "Measuring the quality of relational-to-RDF mappings". In: *International conference on knowledge engineering and the semantic web* (pp. 210-224). Springer, Cham CH
- Wiemann S., Bernard L. (2016), "Spatial data fusion in spatial data infrastructures using linked data", *International Journal of Geographical Information Science*, 30(4): 613-636
- Zaveri A., Rula A., Maurino A., Pietrobon R., Lehmann J., Auer S. (2016), "Quality assessment for linked data: a survey", *Semantic Web* 7 (1): 63-93