

LA GESTIONE DEI DATI NELLA RETE DI RICERCA ECOLOGICA DI LUNGO TERMINE LTER-ITALIA. UNA PROPOSTA PER I DATI LACUSTRI E TERRESTRI

S. Lanucara¹, A. Oggioni¹ e P. Carrara¹

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente

1 – Contesto internazionale e nazionale

1.1 – Contesto internazionale

Le ricerche ecologiche di lungo termine sono quelle che considerano un intervallo temporale da decennale a pluridecennale. Disporre di parametri ecologici in lunghe serie temporali di dati strutturati, ben archiviati e adeguatamente metadati, permette il loro riutilizzo e reinterpretazione per usi differenti, per individuare variazioni e/o alterazioni significative dell'ambiente e quindi per valutare la necessità o l'efficacia delle azioni di recupero di ambienti per una migliore gestione delle risorse e del territorio (Michener, Brunt, Helly, Kirchner, & Stafford, 1997; Palmer, 2003; Lindenmayer & Likens, 2010; Bertoni, 2012).

L'organizzazione in reti di ricerca ecologica a lungo termine facilita l'integrazione non solo di dati ed informazioni, altrimenti frammentate o difficilmente riutilizzabili, ma anche di pratiche, metodologie e strumenti necessari a comprendere, descrivere e prevedere i cambiamenti ambientali (Sutter, Wainscott, Boetsch, Palmer & Rugg, 2015).

In relazione a queste esigenze, nel 1980 è iniziato negli Stati Uniti un programma per promuovere la ricerca ecologica di lungo termine (LTER: Long Term Ecological Research); il programma, finanziato dalla National Science Foundation (NSF), costituito da 6 siti cresciuti oggi sino a divenire 26 siti di ricerca (Michener, Porter, Servilla, & Vanderbilt, 2011), è la più grande rete di ricerca ecologica statunitense con oltre 2.000 ricercatori coinvolti, 17.000 pubblicazioni e circa 20.000 *data packages* distribuiti tramite il sistema informativo LTER Network Information System (NIS) (The Long Term Ecological Research Network Annual Report, 2014). Nel 1993, su proposta della rete statunitense LTER, viene creata una rete di ricerca ecologica internazionale (ILTER) finalizzata a:

- migliorare la comprensione degli ecosistemi globali ed a fornire supporto per la soluzione di problemi ambientali attuali e futuri.
- favorire e promuovere la collaborazione ed il coordinamento tra i ricercatori in ecologia e le reti di ricerca a scala locale, regionale e globale;
- migliorare la comparabilità dei dati ecologici di lungo termine raccolti nel mondo e facilitarne l'interscambio e la conservazione;
- incrementare lo scambio di informazioni scientifiche tra scienziati, decisori politici e pubblica opinione per sviluppare opzioni ottimali di gestione degli ecosistemi;
- favorire la formazione della generazione futura di ricercatori di lungo termine.

Dal momento della costituzione di ILTER, nel 1993, i programmi di ricerca ecologica globali a lungo termine si sono espansi. A partire dal febbraio 2006, 32 paesi hanno istituito programmi formali LTER e aderito alla rete ILTER che oggi ha raggruppato le sue reti nazionali in cinque reti regionali - Asia orientale / Pacifico, Europa, Africa, America del Nord, e Centro / Sud America.

1.2 – La Rete LTER in Italia

Nell'anno 2006, dopo un processo durato quasi 10 anni (Matteucci, Bianchi, Bertoni, Pugnetti, & Ravaioli, 2007), il nostro Paese è entrato a far parte di ILTER con la creazione della Rete Italiana di Ricerche Ecologiche a Lungo Termine (LTER-Italia). La Rete, inizialmente composta da 10 siti è divenuta nel tempo un sistema multidisciplinare composto da 25 siti, indicati come *parent sites* e costituiti da ecosistemi terrestri (foreste, praterie di alta quota, dune, ambienti alpini), lacustri (laghi sudalpini, laghi di montagna, laghi artificiali), di transizione (lagune, delta fluviali) e marini (mare aperto, golfi). La

maggior parte dei *parent site* è di tipo complesso (Pugnetti et al., 2013), costituito cioè da più siti di ricerca, definiti *research site*, e rappresentativi delle diverse tipologie di ecosistema (fig. 1). La dotazione strumentale dei siti è variabile, in base alla storia del sito e alle ricerche che vi vengono svolte. Poiché la Rete LTER-Italia non gode di finanziamenti ad hoc stabili nel tempo, le attività dei siti dipendono da diversi tipi di finanziamento e sostegno, che possono mirare ad obiettivi eterogenei. Tuttavia, oltre agli obiettivi generali stabiliti dalla rete internazionale ILTER, la rete italiana nel suo complesso si propone di studiare e definire, in campo ecologico, i seguenti argomenti:

- la variabilità di base e le tendenze evolutive, l'analisi e la sintesi dei processi ecologici;
- uno sviluppo sostenibile e il relativo impatto antropico;
- la raccolta di dati di supporto all'elaborazione di strategie di gestione sostenibile;
- l'integrazione della ricerca ecologica terrestre, acquatica e marina;
- i rapporti con altre reti analoghe dell'Unione Europea ed internazionali.

LTER-Italia opera in stretta connessione con LTER-Europe e con l'iniziativa Europea LifeWatch (Italian chapter), condividendo con entrambi lo sviluppo degli strumenti informatici per il trattamento dei dati.



Fig. 1 - Distribuzione spaziale di siti di ricerca (*research sites*) della rete LTER-Italia secondo la rappresentazione presente in *Drupal Ecological Information Management System* (DEIMS - <http://data.lter-europe.net/deims/>)

2 - Strumenti a disposizione della Rete LTER-Italia

Come già scritto da Michener (2003) e ricordato recentemente da Sutter (2015): per le ricerche ecologiche a lungo termine è essenziale lo sviluppo di sistemi informativi/piattaforme che permettano di ricercare, gestire e condividere i dati relativi ai cambiamenti ambientali e degli ecosistemi. A livello internazionale vengono sviluppati sistemi/piattaforme che abilitino gli utenti a tali operazioni (Ahn & Jang, 2015); in Europa ed in particolare in Italia sono stati sviluppati alcuni strumenti informatici nei progetti LIFE+ EnvEurope e ExpeER. Lo strumento principale di LTER Europe, sviluppato grazie al progetto EnvEurope e prendendo spunto dalla corrispondente versione americana, è il *Drupal Ecological Information Management System* (DEIMS - <http://data.lter-europe.net/deims/>). Gli altri strumenti di cui la rete LTER europea si avvale sono: i WebSite di LTER Europe (<http://www.lter-europe.net>) e di LTER Italia (<http://www.lteritalia.it>), il database interattivo di parametri e metodi per LTER “ECOPAR” (<http://www.ufz.de/lter-d/index.php?en=32141&contentonly=1>), il tesoro per le ricerche ecologiche a lungo termine “EnvThes” (Schentz et al., 2013).

Questo paragrafo descrive sinteticamente DEIMS e uno strumento per la creazione distribuita dei repository dei dati che è proposto e utilizzato in questo lavoro.

2.1 - *Drupal Ecological Information System*

La versione europea di DEIMS rappresenta la principale piattaforma web per registrare, trovare e modificare le informazioni (metadati) correlate ai siti di ricerca, ai responsabili dei *parent site* e dei *research site*, e ai *dataset* prodotti. Si può considerare come il “deposito” centrale, la piattaforma di informazioni per la rete di siti di ricerca LTER Europe (incluse tutte le reti LTER nazionali) e ILTER. Consente di fornire, scoprire e accedere alle informazioni sui siti di ricerca, sui dataset, sulle persone e sulle pubblicazioni relative alle osservazioni di lungo periodo; nello specifico DEIMS è costituito da tre moduli (Kliment, Peterseil, Oggioni, Pugnetti, & Blankman, 2013) che forniscono agli utenti le seguenti funzionalità:

- **Discovery:** permette la ricerca di *dataset*, persone, siti di ricerca e la visualizzazione delle informazioni correlate (metadati). Il modulo presenta diverse interfacce per definire differenti tipi di richieste da inviare al database dei metadati e per visualizzarne i risultati. Le ricerche dei metadati su dataset, persone, siti di ricerca possono essere di tipo semplice o di tipo avanzato (fig. 2);

Fig. 2 - *Interfaccia di DEIMS per la ricerca avanzata sui parent site e sui research site.*

- **Geoview:** permette la ricerca e visualizzazione, su mappa, dei siti di ricerca e delle loro informazioni (metadati). I diversi siti di ricerca possono essere filtrati per differenti criteri quali ad esempio la rete di appartenenza o il tipo di ecosistema;

Metadata editor: permette la creazione e gestione dei metadati dei dataset, persone e siti di ricerca, facilitata dall'utilizzo del vocabolario controllato “EnvThes”.

E' importante sottolineare che DEIMS dedica un capitolo specifico alla metadattazione delle persone, cioè dei ricercatori che operano nei siti LTER, favorendone la visibilità; inoltre la versione europea di DEIMS è stata ampliata attraverso i metadati dei dataset, distinti da quelli dei siti di ricerca. Il modello di metadati per la descrizione dei dati utilizzato è basato sul *Metadata Specification for Dataset Level* sviluppato in EnvEurope (LTER-Europe)/ExpeER5 (<http://www.expeeronline.eu>), derivato dalle specifiche dell'*Ecological Metadata Language* (EML) (Michener W. K., 2006). Tale modello è stato reso compatibile alla direttiva INSPIRE grazie ad incrocio tra i metadati EML ed ISO 19115 (Oggioni A. *et al* 2012).

DEIMS si limita al trattamento dei metadati, e non gestisce la memorizzazione e distribuzione dei dataset, che in EnvEurope è avvenuta, di base, raccogliendo i dati di test in un unico repository

centralizzato sulla base di una raccolta effettuata tramite fogli Excel, una scelta difficilmente sostenibile al di fuori di un progetto specifico e limitato nel tempo.

2.2 – Get-It Starterkit

Get-It Geoinformation Enabling Toolkit Starterkit (Get-It) è una suite software che intende mettere in grado ricercatori esperti di dominio di diventare protagonisti nella creazione di una Infrastruttura di dati territoriali interoperabile (SDI). Essa abilita la distribuzione interoperabile, *standard Open Geospatial Consortium* (OGC) (tab. 1), dei dati attraverso servizi web autonomi, creando un proprio repository di dati spaziali, sia geografici sia osservativi, e facilitando la creazione di metadati dei dati e, se richiesto, dei sensori di misura; il tutto secondo standard Geo-GEOSS (http://www.earthobservations.org/gci_sr.shtml) e INSPIRE (recepimento italiano RNDT). I servizi creati, i dati e metadati sono ospitati da macchine virtuali che possono essere installate in server propri o di hosting.

Servizio	Versione
OGC Web Map Service	1.1.1, 1.3.0
OGC Web Feature Service	1.0.0, 1.1.0, 2.0
OGC Web Coverage Service	1.0, 1.1
OGC Styled Layer Descriptor	1.0
OGC Web Map Tiling Service	
OGC Catalogue Services for the Web	2.0.2
OGC SOS	1.0.0, 2.0.0
OGC Sensor Model Language (SensorML)	1.0.1
OGC Observation and Measurement (O&M)	1.0.0
OGC Geography Markup Language (GML)	3.1.1

Tab. 1 – Principali servizi interoperabili, standard OGC, erogati da Get-It

Sviluppata da un gruppo di ricerca congiunto del CNR IREA-ISMAR nell'ambito del progetto bandiera RITMARE (<http://www.ritmare.it>) è completamente free e open-source ed ha tra gli obiettivi: la realizzazione di un Infrastruttura interoperabile federata o distribuita per la rete osservativa e per i dati marini; permettere ai ricercatori ed alle organizzazioni di ricerca di contribuire con i propri dati e metadati.

Get-It è costituita da una macchina virtuale, basata sul sistema operativo Ubuntu; il software di base utilizzato è GeoNode (geonode.org), un sistema di gestione dei contenuti geografico ampiamente conosciuto (Benthall B. *et al* 2010) (Winslow D. 2010); esso è stato modificato e sono stati aggiunti alcuni componenti software sia server sia client per la creazione e gestione di dati, immagini telerilevate e metadati di sensori ed osservazioni, nonché per l'abilitazione semantica dell'infrastruttura (Fugazza C. *et al* 2014). In particolare le nuove implementazioni sono consistite nell'aggiunta di:

- Sensor Observation Service (SOS) server nella sua implementazione di 52° North (52north.org) che abilita la suite alla gestione e distribuzione di dati e servizi di tipo osservativo;
- SOS manager che permette l'editing in formato SensorML per la registrazione di nuovi sensori;
- SOS client che permette di visualizzare le informazioni dei sensori registrati e dei dati che registrano;
- EDI client che permette la creazione e validazione di metadati secondo differenti profili o template. Ad esempio è possibile creare metadati per dataset secondo i profili INSPIRE e RNDT e metadati per sensori in formato SensorML;
- Endpoint SPARQL e vocabolari SKOS per l'abilitazione semantica dei metadati, attiva sia nella creazione che nel discovery dei metadati e dei relativi dati.

L'approccio nella realizzazione ha tenuto conto di (Fugazza C. *et al* 2014):

- rendere il più semplice possibile l'installazione dello strumento;
- permettere ai data provider, che non avessero esperienze di SDI, di gestire, condividere e

pubblicare le proprie osservazioni e dataset;

- favorire l'utilizzo dei servizi abilitati da Get-It anche in altri progetti ed iniziative al di fuori di Ritmare.

Grazie a questo approccio la suite è stata utilizzata anche all'interno del Progetto NextData D-LTER Mountain (www.nextdataport.it/sites/default/files/docs/PP1-LTER-Mountain.pdf), sperimentando la distribuzione delle osservazioni ecologiche raccolte in campo dai ricercatori in alcuni siti terrestri e di laghi di montagna della rete LTER Italia.

3 - Stato delle informazioni esistenti

I dati ecologici e le informazioni della Rete LTER, costituiti da diversi domini di dati ecologici, sono in continua crescita come volume, ampiezza e complessità; per la loro ricerca ed utilizzo sono essenziali alti livelli di descrizione dei dati (metadati). Nell'ambito della IX Assemblea della Rete LTER Italia, luglio 2015, è stata effettuata una ricognizione (Borsa R. *et al* 2015) sullo stato dei metadati di LTER Italia presenti sul DEIMS ed in particolare è stata valutata la presenza, completezza e correttezza dei metadati dei dataset, delle persone, dei siti di ricerca; lo stesso tipo di ricognizione, ma circoscritto ad alcuni siti lacustri e terrestri, era stata effettuata qualche tempo prima, ottobre 2014, nell'ambito del progetto NextData D-Lter Mountain (Carrara P. *et al* 2015). Da entrambe le ricognizioni è emerso che lo stato delle informazioni (metadati) della Rete è ben lontano dall'essere completo o accurato. Infatti (fig. 4):

- alcuni Siti non sono presenti sul DEIMS;
- alcuni Siti mancano totalmente di informazioni (metadati) sul sito stesso;
- sono presenti numerosi errori nella compilazione dei metadati ed i metadati sono spesso incompleti;
- sono presenti pochi metadati di dataset per i siti LTER della rete italiana.

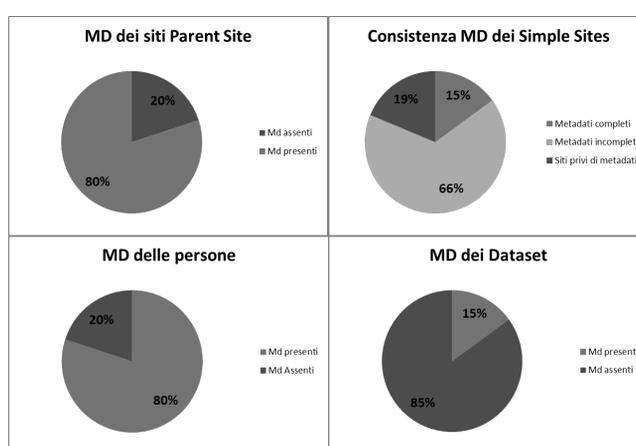


Fig. 3 – Presenza di metadati su DEIMS della rete LTER-Italia

La rete LTER italiana ed europea hanno finora fatto poco affidamento sui servizi web standard OGC per la condivisione dei dati. Nel progetto LIFE+ EnvEurope, grazie alla realizzazione di un caso d'uso relativo alla evoluzione della fenologia in ambienti acquatici e terrestri europei, è stato possibile raccogliere i dati da ben 26 siti di 12 paesi e condividerli attraverso un servizio SOS in versione 1.0 (<http://sp7.irea.cnr.it/tomcat/SOS32>). Nello stesso progetto, i rimanenti dati, sono stati invece condivisi attraverso un foglio di calcolo con campi concordati.

4 - Metodologia per la condivisione dei dati, osservazioni e metadati

Nell'ambito Progetto Data-LTER-Mountain di NextData abbiamo proposto un workflow per superare le lacune esistenti nella metadatozione dei siti LTER italiani e nell'offerta di dataset, sviluppando un

sistema distribuito di archivi e servizi web di accesso a dati, e relativi metadati, raccolti nei siti montani lacustri e terrestri della Rete LTER-Italia. Il workflow nasce a partire dalle esperienze maturate nel Progetto Life+ EnvEurope armonizzate con gli approcci internazionali e nazionali nel settore. I siti montani di ricerca ecologica (tab. 2) sono stati dotati di archivi interoperabili per i propri dati e metadati, utilizzando standard e modelli in accordo con le pratiche di LTER Europe. I dati e i metadati vanno così a popolare una infrastruttura interoperabile, che permette la ricerca, l'accesso e l'utilizzo più agevole dei stessi dati.

PARENT SITE	RESEARCH SITE
Apennines: high elevation ecosystems	Majella-Matese Velino-Duchessa GranSasso Northern Apennines
Forests of the Alps	Val Masino Passo del Renon Passo Lavazzè Tarvisio Valbona Reserve
Forests of the Apennines	Collelongo-Selva Piana Piano Limina Montagna di Torricchio
Mountain Lakes	Lakes Scuro and Santo Parmense Lakes Paione Inferiore e Superiore
Western Alps: high elevation ecosystems	Scientific Institution Mosso Torgnon

Tab. 2 – *Siti della Rete LTER Italia in NextData Data-LTER-mountain*

L'architettura, progettata ed implementata, ha previsto la creazione di due nodi di un'infrastruttura interoperabile distribuita, dedicati alla memorizzazione e distribuzione dei dataset dei siti attraverso servizi web standard OGC. Il primo nodo, installato presso il CNR ISE di Pallanza (sk.ise.cnr.it), relativo agli archivi e servizi sui dati lacustri, ed un secondo installato presso il CNR IREA di Milano (nextdata.get-it.it), per gli archivi e servizi sui dati terrestri. I due nodi, che sono effettivamente macchine virtuali installate su relativi server sono stati connessi agli strumenti già esistenti in LTER Europe ed in particolare al DEIMS per permettere la metadattazione e ricerca dei siti di ricerca, delle persone coinvolte e dei dataset raccolti dai siti in oggetto.

I due nodi dell'infrastruttura sono stati realizzati utilizzando la suite Get-It Starter Kit, che abilita l'utente alla creazione, gestione ed editing di dati geospaziali ed osservazioni, nonché dei metadati dei sensori utilizzati per le osservazioni; la creazione dei servizi standard OGC (Sensor Observation Service SOS, Web Map Service WMS, Web Feature Service WFS), demandata ai due nodi, permette un accesso ai dati trasmessi dai servizi di Pallanza e Milano attraverso un portale LTER appositamente creato, ma anche attraverso i portali di altre infrastrutture interoperabili. Gli strumenti utilizzati per la creazione e gestione dei dati osservativi, Get-It, e dei metadati, DEIMS, hanno permesso un arricchimento semantico dei metadati stessi attraverso l'utilizzo di codelist-vocabolari-ontologie ecologiche.

Per quanto riguarda le osservazioni raccolte nei siti sono stati descritti gli strumenti (sensori) con i quali sono stati rilevati i parametri osservati e la loro posizione, secondo la specifica SensorML (operazione InsertSensor); tale operazione in Get-It è resa agevole da un'interfaccia grafica utente che permette una compilazione "facilitata", anche grazie all'utilizzo di vocabolari. Sono stati poi inseriti nei servizi di ciascun nodo dell'infrastruttura i dati ecologici effettivamente raccolti dai ricercatori (operazione InsertObservation); anche in questo caso Get-It è dotata di una interfaccia grafica utente che permette un agevole inserimento anche con "copia-incolla" da fogli di calcolo (i.e. Excel e simili). Inseriti i dati è possibile visualizzare, sotto forma di grafico temporale, i valori dei parametri misurati.

I parametri ecologici inseriti, ad oggi, all'interno dell'infrastruttura ed ricercabili anche dalle facility IT di LTER Europe (DEIMS) sono riportati nella seguente tabella (tab. 3).

Sono in corso di caricamento i dati relativi ai siti terrestri coinvolti in Data-LTER-mountain.

Research Site	Parametro
Lake Santo parmense	Chlorophyll – Ammonium – Nitrate – Reactive Phosphorous – Silica - Optical visibility in the water column – Water temp. – Dissolved oxygen – pH – Ammonia
Lake Scuro parmense	Chlorophyll – Ammonium – Nitrate – Reactive phosphorous – Silica - Optical visibility in the water column – Water temp. – Dissolved oxygen – pH – Ammonia
Lake Paione inferiore	Potassium - Calcium – Magnesium – Sodium – Chloride – Sulphate – Nitrate – Electrical conductivity – pH – Total alkalinity – Total nitrogen – Ammonium – Total phosphorous – Reactive phosphorous – Reactive silica
Lake Paione superiore	Potassium - Calcium – Magnesium – Sodium – Chloride – Sulphate – Nitrate – Electrical conductivity – pH – Total alkalinity – Total nitrogen – Ammonium – Total phosphorous – Reactive phosphorous – Reactive silica

Tab. 3 - Parametri ecologici inseriti nell'infrastruttura distinti per località e parametro

5 – Discussione e conclusioni

La Rete LTER Italia dispone di strumenti informatici che permettono di ricercare, gestire e condividere i dati relativi ai cambiamenti ambientali e degli ecosistemi; nel presente lavoro si è sperimentato l'utilizzo di tali strumenti:

DEIMS (versione europea) con il quale è possibile registrare, trovare e modificare le informazioni (metadati) correlate ai siti di ricerca ecologica di lungo termine, dei ricercatori coinvolti, dei dataset; può essere considerato come il “deposito” centrale, la piattaforma di informazioni per la rete di siti di ricerca LTER Europe (incluse tutte le reti LTER nazionali) e ILTER. Consente inoltre di fornire, scoprire e accedere alle informazioni sui siti di ricerca, sui dataset, sulle persone e sulle pubblicazioni relative alle osservazioni di lungo periodo.

Get-It Starter Kit grazie al quale è possibile creare, gestire ed editare dati geospaziali ed osservazioni nonché dividerle grazie a servizi interoperabili con standard OGC (WMS, WFS, WCS per mappe e dati, SOS per le osservazioni e CSW per il discovery), ed INSPIRE.

Grazie a questi strumenti i ricercatori della Rete possono memorizzare e gestire le osservazioni raccolte nei siti di ricerca come pure i metadati che descrivono i siti, i ricercatori stessi e le osservazioni raccolte. Nel contempo, attraverso questi strumenti, i ricercatori LTER possono distribuire i propri dataset in altri progetti, esterni alla rete, in modo interoperabile, evitando inutili e dannose duplicazioni, purché tali progetti, come avviene ormai generalmente sia livello globale sia europeo, siano dotati di portali compatibili con standard OGC.

L'esperienza condotta rivela la piena fattibilità del workflow, ma ha mostrato la difficoltà dei ricercatori LTER Italia nel rendersi conto dell'utilità della metadattazione, che viene spesso ritenuta operazione inutile e, comunque, time-consuming; gli sviluppatori IT possono fare ancora molto per agevolare l'inserimento semi-automatico e il più possibile semplificato dei metadati.

Ringraziamenti

Questo contributo è stato realizzato grazie al supporto di NextData Data-LTER-Mountain.

Bibliografia

- Ahn S., Jang J., 2015, «A Trend of Long-term Ecological Research Platform Technology» in *Advanced Science and Technology Letters* 85, 29–32, 2015.
- Benthall B., Gill, S., 2010, «SDI Best Practices with GeoNode» in *Proceedings of Free and Open Source Software for Geospatial Conference (FOSS4G 2010)*.
- Bertoni R., Cindolo C., Cocciufa C., Freppaz M., Mason F., Matteucci G., Pugnetti A., Ravaioli M., Rossetti G., Zingone A., 2012, «Le ragioni della ricerca ecologica a lungo termine» in *La rete italiana per la ricerca ecologica a lungo termine (LTER–Italia) Situazione e prospettive dopo un quinquennio di attività (2006–2011)*, 2012.
- Borsa R., Lanucara S., Carrara P., Oggioni a., 2015, «Inventario di set di dati e metadati nella Rete Lter Italia», <http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.1528309>, 2015.
- Carrara P., Lanucara S., Oggioni A., 2014, «First proposal of system architecture for bio-ecological

dataset in NextData; summary of the current metadata and dataset of partners stored within LTER Europe facilities» Deliverable Deliverable 1 of Task 1 Project of Strategic Interest NEXTDATA Special Project: “Data-LTER-Mountain”, 2014.

Fugazza C., Menegon S., Pepe M., Oggioni A., Carrara P., 2014, «The RITMARE Starter Kit: Bottom-up capacity building for geospatial data providers» 9th International Conference on Software Paradigm Trends, 2014.

Fugazza C., Pepe M., Oggioni A., Pavesi F., Carrara P., 2014, «A holistic, semantics-aware approach to Spatial Data Infrastructures». 3rd International Conference on Data Management Technologies and Applications, 2014

Matteucci G., Bianchi F., Bertoni R., Pugnetti A., Ravaioli M., 2007, «Ricerche ecologiche e cambiamenti climatici: il ruolo del CNR» in *Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR*, Consiglio Nazionale delle Ricerche, 2007.

Michener W. K., 2006, «Meta-information concepts for ecological data management» in *Ecological Informatics*, 1(1), 3–7, 2006.

Michener W. K., Porter J., Servilla M., Vanderbilt K., 2011, «Long term ecological research and information management» in *Ecological Informatics*, 6(1), 13–24, 2011.

Oggioni A., Carrara P., Kliment T., Peterseil J., Schentz H., 2012, «Monitoring of Environmental Status through Long Term Series: Data Management System in the EnvEurope Project» in *EnviroInfo 2012: EnviroInfo Dessau*, 2012.

Pugnetti A., Acri F., Bernardi A. F., Camatti E., Cecere E., Facca C., ... Torricelli, P., 2013, «The Italian long-term ecosystem research (LTER-Italy) network: Results, opportunities, and challenges for coastal transitional ecosystems» in *Transitional Waters Bulletin*, 7(1), 43–63, 2013.

Schentz H., Peterseil J., Bertrand N., Bastiano M., Blankman D., Frenzel M., Grandin U., 2013, «EnvThes - interlinked thesaurus for long term ecological research , monitoring , and experiments» in *EnviroInfo 2013: Environmental Informatics and Renewable Energies*, 2013.

Kliment T., Peterseil J., Oggioni A., Pugnetti A., Blankman D., 2013, «Life+ EnvEurope DEIMS-improving access to long-term ecosystem monitoring data in Europe» EGU General Assembly Conference Abstracts 15, 2013.

The Long Term Ecological Research Network Annual Report, 2014.

Winslow D., 2010, «GeoNode Architecture: wrangling \$100 million worth of open source software to make SDI building a walk in the park» in *Proceedings of Free and Open Source Software for Geospatial Conference (FOSS4G 2010)*.