

Cartografia partecipativa per il censimento e la localizzazione degli impianti fotovoltaici a terra. Il caso del Friuli Venezia Giulia

Il lavoro presenta una mappa interattiva pubblicata sul web, che mostra la localizzazione e alcune caratteristiche tecniche degli impianti fotovoltaici a terra in Friuli Venezia Giulia. La mappa è stata realizzata sulla base dei dati estratti dal database cartografico di OpenStreetMap, la diffusa mappa online interamente realizzata da contributi liberi dei cosiddetti «volontari dell'informazione geografica» (VGI – Volunteered Geographic Information). L'importanza del settore energetico fotovoltaico viene ribadita sulle pressanti emergenze del cambiamento climatico in atto. Il processo di realizzazione del prodotto cartografico viene schematizzato brevemente mentre alcune considerazioni critiche relative alla cartografia partecipativa sono riportate nelle conclusioni.

Volunteered Mapping Ground-based Photovoltaic Plants. The Friuli Venezia Giulia Case

The paper presents an interactive web map showing the Friuli Venezia Giulia region ground photovoltaic plant locations. The plant icons of the web map are linked to some pop-up windows which give some technical information (extension of the plant, total installed power, solar direction etc.). The map data come from the OpenStreetMap (OSM) cartographic database. OSM is the widespread world map, web distributed, which is totally realized with the inputs given by the so called VGI (Volunteered Geographic Information). The importance of the solar power sector is highlighted by the emergency that is climate change. The web map realization process is outlined. Some critical concluding remarks on participatory mapping are given.

Cartographie participative pour le recensement et la localisation des systèmes photovoltaïques au sol. Le cas du Friuli Venezia Giulia

L'article présente une carte interactive publiée sur le web, avec lequel il est possible de connaître l'emplacement et certaines caractéristiques techniques des systèmes photovoltaïques au sol dans la région du Friuli Venezia Giulia. La carte a été créée à partir de la database cartographique de OpenStreetMap (OSM), la cartographie en ligne entièrement réalisée de contributions gratuites des soi-disant « volontaires de l'information géographique » (VGI – Volunteered Geographic Information). L'importance du secteur de l'énergie photovoltaïque est soulignée par les urgences pressantes du changement climatique. La procédure de réalisation du produit cartographique est brièvement décrite. Certaines considérations critiques, concernant surtout la cartographie participative, sont rapportées dans les conclusions.

Parole chiave: OpenStreetMap, VGI, web mapping, energia fotovoltaica

Keywords: OpenStreetMap, VGI, web mapping, photovoltaic energy

Mots-clé : OpenStreetMap, VGI, cartographie en ligne, énergie photovoltaïque

Università di Trieste, Dipartimento di studi umanistici – afavretto@units.it

1. Introduzione

Come è noto, la Cartografia è da sempre stata influenzata dalla tecnologia. A tal riguardo, Robinson e altri (1995, p. 28) identifica ben cinque rivoluzioni tecnologiche, che seguono e hanno cambiato il disegno manuale delle carte. Non è sicuramente questa la sede per ricordare tali tecnologie, per le quali si rimanda al testo di Robinson.

Si desidera però ricollegarsi al modello proposto per sottolineare una nuova rivoluzione in atto, legata al *web*. Questa estende e completa la *electronic revolution*, delineata da Robinson nel testo citato. Il *web*, il ben noto servizio di Internet ideato da Tim Berners Lee nel 1989, ha impattato la disciplina cartografica, stravolgendo le modalità di distribuzione delle mappe e anche, in parte, quelle di produzione. Si pensi che già nel 1990, appe-



na un anno dopo la sua nascita, il numero delle mappe trasmesse attraverso la rete aveva superato quello delle mappe stampate (Peterson, 2014, p. 1). Ma i numeri sono solamente uno degli aspetti da valutare: si consideri ad esempio l'interattività delle mappe sul *web*, che ha permesso agli utenti di decidere modalità, scala e tematismi del prodotto cartografico. Lo sviluppo della tecnologia propria dei Sistemi informativi geografici (GIS) e la possibilità di collegarli ai *database* relazionali ha inoltre abbassato i costi di produzione delle mappe, permettendo in tal modo aggiornamenti cartografici molto ravvicinati nel tempo (ad esempio, le mappe del traffico automobilistico, *ibidem*, p. 2).

L'esigenza di un'interattività sempre più spinta ha determinato lo sviluppo di moltissime applicazioni per il *web*, che hanno permesso agli utenti di Internet di partecipare attivamente alla costruzione dei suoi contenuti (*web 2.0*). Gli aspetti più evidenti di tale trasformazione sono legati a iniziative come Wikipedia, alle piattaforme di *e-commerce*, che mettono in relazione diretti venditori e compratori (*ebay*), ai *social network*.

Per quanto riguarda la cartografia e, più in generale l'informazione geografica, non si può trascurare il fenomeno denominato VGI (Volunteered geographical information) da Goodchild nel 2007. VGI è uno dei casi in cui la tecnologia è stata in grado di favorire la nascita e la diffusione di un processo *bottom-up* per la creazione di informazione geografica, in grado di integrare i tradizionali meccanismi *top down* (Elwood, Goodchild e Sui, 2012), in parziale crisi per l'avversa congiuntura economica globale della seconda metà degli anni Duemila. Molto è stato scritto su VGI. Si tratta di un importante e suggestivo fenomeno sociale (Bishr e Kuhn, 2013), che non può essere trascurato per la mole dei dati che riesce a produrre. Probabilmente la maggiore controindicazione è il controllo della qualità di tali dati. A tal riguardo, nel 2012 Goodchild e Li hanno proposto tre linee di controllo, che vanno dal *crowdsourcing* (gruppi di controllo), ai cosiddetti «approcci sociali» (individui o gruppi di comprovata competenza sull'argomento), agli approcci geografici (collegamento alle regole e leggi proprie della disciplina geografica)¹.

Forse l'esempio più eclatante di cartografia partecipativa è il progetto OpenStreetMap (OSM - <https://www.openstreetmap.org>). Nato nel 2004 in Inghilterra, il progetto è divenuto fondazione nel 2006 e vanta quasi 6 milioni di contributori attivi (al 15.I.2020 - https://www.openstreetmap.org/stats/data_stats.html).

La Geografia non è nuova alle tematiche ener-

getiche. Facendo riferimento all'Italia, il gruppo di lavoro AGEI su «L'analisi geografica delle fonti di energia» è attivo dai primi anni Novanta².

Oggi chi studia queste tematiche (non solo da un punto di vista geografico) non può prescindere dal considerare il drammatico cambiamento climatico globalmente in atto. Secondo i dati forniti dalla NASA e da NOAA (Schmidt e Arndt, 2020), gli anni dal 2015 al 2019 sono stati i più caldi dal 1880, da quando cioè vengono rilevate le temperature. Lo studio delle serie storiche fornite dai due enti americani evidenzia *trend* in chiaro e preoccupante aumento. La questione energetica deve diventare una questione ambientale e la riduzione dell'uso delle fonti tradizionali di energia (carbone, petrolio e gas) è un imperativo morale, come ricorda anche papa Francesco, nel suo discorso in Vaticano in occasione dell'incontro «Climate Change and New Evidence from Science, Engineering, and Policy», organizzato dalla Pontificia Accademia delle Scienze³. La necessità della transizione verso le energie rinnovabili è stata ribadita a Parigi nella COP 21 (XXI Conferenza delle Parti dell'UNFCCC) del 2015.

L'energia fotovoltaica giocherà sicuramente un ruolo importante in tal senso. Secondo il *report* IEA (International Energy Agency) del 2019, il periodo dal 2019 al 2024 registrerà un incremento della energia rinnovabile globale basata sul sole pari al 50% (IEA, 2019b). L'importanza del fotovoltaico è ribadita anche dalla vicenda della ratifica indiana dell'accordo di Parigi nel 2015, narrata da Al Gore nel suo *An Inconvenient Sequel: Truth to Power* (documentario e libro) del 2017. Al Gore fa riferimento alle modalità di persuasione dell'India⁴ a ratificare l'accordo di Parigi sul clima del 2015. Fu fatta leva sull'offerta di SolarCity, l'azienda americana *leader* per i sistemi di energia solare (acquistata da Tesla nel 2016), di concedere gratuitamente all'India la sua più innovativa tecnologia a celle solari.

Il presente lavoro tratta per l'appunto di energia fotovoltaica. Più precisamente presenta un caso di come la cartografia partecipativa possa affiancarsi alle fonti più tradizionali di censimento e rappresentazione territoriale di impianti fotovoltaici a terra, per fornire un servizio informativo aggiuntivo e complementare agli utenti. Utilizzando le informazioni del *database* cartografico di OSM, si è costruita una mappa sul *web* in grado di localizzare e interrogare interattivamente gli impianti fotovoltaici a terra nel Friuli Venezia Giulia (estensione, tipologia impianto, direzione, potenza stimata).

La struttura del contributo è la seguente: ven-

gono presentate le fonti tradizionali e ufficiali di censimento e rappresentazione su carte tematiche (base regionale/provinciale/comunale) del fotovoltaico in Italia (Atlasole - <http://atlasole.gse.it/atlasole/>). A seguire, si introduce il progetto OSM sia come fonte di censimento (su base partecipativa) sia di mappatura degli impianti fotovoltaici a terra. Viene poi presentata la mappa *web* interattiva sugli impianti fotovoltaici a terra in Friuli Venezia Giulia realizzata con l'applicativo *open source* OpenLayers (<https://openlayers.org>). Alcune considerazioni conclusive chiudono il lavoro.

2. Le fonti tradizionali e innovative di censimento e localizzazione del fotovoltaico

I dati sul fotovoltaico in Italia sono affidati al Gestore dei servizi energetici (GSE - <https://www.gse.it>), la società individuata dallo Stato italiano per perseguire obiettivi di sostenibilità ambientale in campo energetico. Infatti, fra i compiti istituzionali di GSE, vi è anche la rilevazione statistica degli impianti fotovoltaici che hanno richiesto un incentivo pubblico mediante il Conto Energia.

GSE ha sviluppato a tal fine un'architettura basata sul *web*, che consente all'utenza di ottenere in tempo reale i dati su numerosità e potenza totale

(kW) degli impianti fotovoltaici italiani, disaggregati per regioni, province e comuni. Il *webGIS* «Atlasole» (<http://atlasole.gse.it/atlasole/>) fornisce su richiesta mappe tematiche e informazioni di tipo attributo (sotto forma di finestre *pop up*). La nuova versione dell'applicativo permetterà di visionare anche eventuali allegati collegati alle informazioni rappresentate sulle mappe. A titolo di esempio, si veda la figura 1, che riporta la mappa tematica della potenza fotovoltaica installata in alcuni comuni della provincia di Trieste. La mappa è stata realizzata da Atlasole il 20/1/2020.

Come è facilmente osservabile dalla figura 1, Atlasole non fornisce la localizzazione dei singoli impianti sul territorio, né è in grado di disaggregare la potenza fornita dagli impianti a terra da quella fornita dai pannelli montati sui tetti delle case. Nel caso si desideri valutare lo spazio consumato dagli impianti a terra e si voglia pertanto conoscerne localizzazione, estensione e potenza, è necessario cercare un'altra via per avere tali informazioni.

Si è pertanto pensato di verificare la possibilità di ricavare tali informazioni da OSM. Come si è accennato, si tratta dell'idea di un programmatore inglese, di nome Steve Coast, dalla quale è nata, a metà degli anni 2000, la OpenStreetMap Foundation. Quest'ultima è un'organizzazione

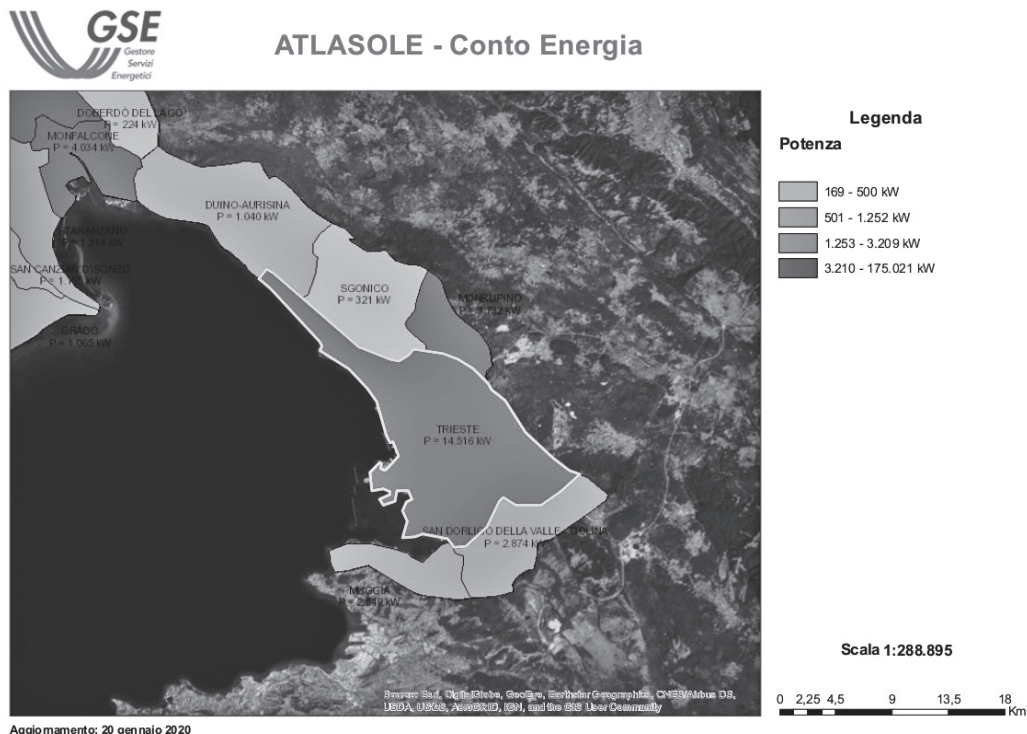


Fig. 1. La mappa tematica della potenza fotovoltaica installata in alcuni comuni della Provincia di Trieste
Fonte: Atlasole, mappa realizzata il 20.1.2020



senza scopo di lucro che è stata in grado di creare negli anni un imponente *database* cartografico, a opera di un'utenza totalmente volontaria (i già citati VGI). I VGI hanno disegnato innumerevoli elementi geografici, dapprima in ambito urbano, poi pure extraurbano. Tale lavoro è stato realizzato utilizzando ricevitori GPS (Global positioning system) e *software* gratuitamente messo a disposizione da OSM sulla piattaforma *web* di sviluppo e raffinazione dei dati grezzi dei GPS (formato GPX). Successivamente, altre fonti di dati per OSM sono state carte tecniche e immagini telerilevate, gratuitamente messe a disposizione da enti pubblici e aziende commerciali. Google e Microsoft, ad esempio, hanno spontaneamente concesso a OSM le immagini di Google Earth o Bing Maps, da cui ricavare gli elementi del territorio attraverso un disegno su pc che molto ricorda le vecchie cartine geografiche che si calcavano a scuola sui fogli trasparenti sovrapposti agli atlanti⁵.

Come accennato, OSM è soprattutto un *database* spaziale⁶ ovvero una base di dati in grado di memorizzare elementi cartografici sotto forma di geometrie in formato vettoriale (punti, linee e poligoni). Le geometrie sono descritte da valori di tipo attributo (etichette o *tag*), che ne permettono l'estrazione sotto forma di *query* al *database*. Solitamente un *tag* associato a un elemento geografico è formato da una coppia di valori: una o più chiavi (*key*) con i loro rispettivi valori (*value*).

Ad esempio, la chiave *highway*, che raggruppa le

strade di qualsiasi tipo, dall'autostrada ai sentieri, può assumere diversi valori, fra cui *motorway* (autostrada), *trunk* (superstrada), *primary* (strada di importanza nazionale o regionale) ecc. (si veda: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/IT:Key:highway>).

3. Gli impianti fotovoltaici a terra in Friuli Venezia Giulia: la mappa interattiva sul *web*

Utilizzando l'applicativo OpenLayers⁷ e un *software GIS open source* (QGIS - <https://www.qgis.org/it/site/>), si è realizzata una mappa interattiva sul *web*, consultabile su: <http://disugis.units.it/pv/Progetto/index.html>. La mappa utilizza come base cartografica OSM e mostra la localizzazione degli impianti fotovoltaici a terra in FVG. Le icone che rappresentano i vari impianti sono interrogabili per via grafica. L'interrogazione produce l'apertura di una finestra *pop up*, i cui dati permettono di conoscere la denominazione della località ospitante, l'estensione del sito in metri quadrati, la tipologia dell'impianto, la direzione dello stesso e la potenza stimata in base all'estensione⁸.

La localizzazione e l'estensione degli impianti fotovoltaici è stata ricavata dal *database* di OSM, facendo una *query* per estrarre le geometrie relative, sotto forma di poligoni vettoriali georiferiti.

Facendo riferimento alla struttura di OSM e alle denominazioni delle sue chiavi, nel caso dei pannelli fotovoltaici dobbiamo considerare

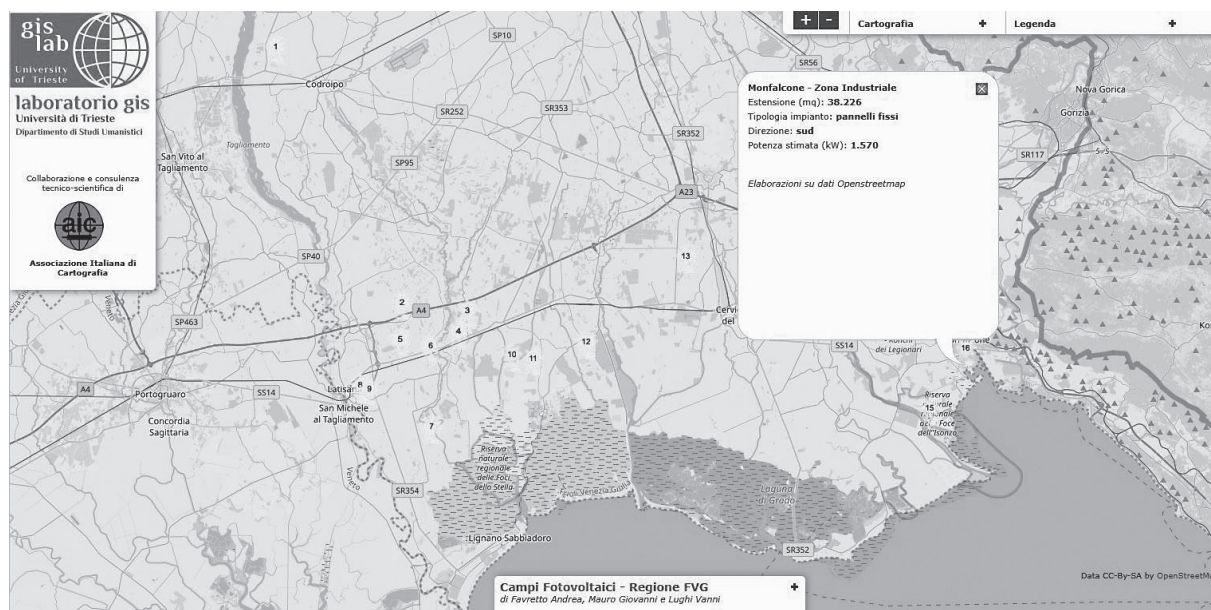


Fig. 2. La mappa interattiva sul *web*, interrogata graficamente per ciò che riguarda l'impianto fotovoltaico a terra di Monfalcone - Zona industriale

Fonte: <http://disugis.units.it/pv/Progetto/index.html>

la chiave cosiddetta *power* (impianti di generazione e distribuzione di energia elettrica), che per le nostre esigenze assume il valore *generator* (*A device used to convert power from one form to another*). A sua volta *generator:source* in coppia con *generator:method* è una chiave doppia, che assume rispettivamente il valore *solar* e quello *photovoltaic*. Quindi la ricerca da fare nel *database* OSM utilizza i seguenti parametri: *generator* (valore della chiave *power*), *solar* (valore della chiave doppia *generator:source*), *photovoltaic* (valore della chiave doppia *generator:method*).

Il risultato della *query* è costituito da un gruppo di file vettoriali georiferiti, i campi fotovoltaici a terra in FVG. Siccome può accadere che i dati in OSM non siano precisi, è necessario considerare non solo i poligoni, ma anche le linee spezzate ricavate in base alla *query*. Questo per ovviare ai casi nei quali i VGI che hanno mappato i campi fotovoltaici non abbiano chiuso la spezzata che delimita il campo (formando così un poligono). In questo caso è necessario editare la spezzata lineare in un *software* GIS, per chiuderla e ottenere un poligono. Una volta ottenuti tutti i poligoni georiferiti, si può procedere alla loro misurazione e al calcolo dei valori energetici specifici.

La figura 2 mostra la mappa interattiva sul *web*, interrogata graficamente per ciò che riguarda l'impianto fotovoltaico a terra di Monfalcone - Zona industriale.

I campi fotovoltaici sono rappresentati dalle **icone gialle** e la finestra aperta in sovrapposizione è relativa, per l'appunto, all'impianto di Monfalcone.

4. Considerazioni conclusive

Si è presentata una mappa interattiva distribuita sul *web*, che mostra la localizzazione degli impianti fotovoltaici a terra in Friuli Venezia Giulia. Le modalità di realizzazione della mappa suggeriscono alcune riflessioni sia di carattere generale sia di natura critica.

Come si è visto, OSM ha svolto due funzioni importanti nella realizzazione del prodotto cartografico. La mappa libera costituisce infatti la base cartografica sulla quale sono state sovrapposte le icone che costituiscono il *layer* vettoriale dei campi fotovoltaici. Detta base viene fornita in modalità *cloud*⁹ dal *server* che ospita la cartografia di OSM. Sempre in modalità *cloud*, il sito di OpenLayers fornisce anche le librerie *software* che servono per la realizzazione e la gestione della mappa interattiva.

Nel presente lavoro, OSM gioca tuttavia un ruolo ben più importante, fornisce cioè dei dati fondamentali nell'economia del prodotto finale, che non sono reperibili attraverso le vie «ufficiali» (sito Atlasole). I dati di OSM, in ultima analisi, rendono possibile l'intero progetto.

OSM è comunemente noto come una carta topografica a grande scala, distribuita gratuitamente in rete (con licenza *Open Data Commons Open Database License* - <https://opendatacommons.org/licenses/odbl/>). In tal senso, la mappa è diffusamente usata. La si può trovare come sfondo in molte applicazioni cartografiche sul *web*. Diversi *software* GIS, quali QGIS o ArcGIS la rendono inoltre disponibile come *base map* - Sistema di coordinate Web Mercator - EPSG 3857¹⁰. Non solo, OSM è ampiamente usata nei *device* portatili quali *smartphone* e rilevatori GPS come mappa di base per varie attività escursionistiche¹¹.

Bisogna però ricordare che la mappa di OSM è gestita da un *database* cartografico (PostgreSQL). In ultima analisi OSM è un *database* cartografico, aggiornato da un'utenza partecipativa (VGI), che può assumere l'aspetto di una carta topografica, ma anche, come in questo caso, essere la fonte per *layer* cartografici vettoriali, relativi a determinati elementi geografici difficilmente reperibili altrove (e altrimenti reperibili solo tramite rilevamenti sul posto con GPS).

Come ampiamente ricordato, OSM è realizzato su base volontaria, ovvero da un'utenza eterogenea che raramente si accorda su linee operative generali, necessarie per un prodotto finito omogeneo, preciso e corretto. In tal senso, nel caso in oggetto si sono sperimentate alcune difficoltà, relative a: *a*) la qualità del disegno cartografico vettoriale estratto da OSM. Ci si riferisce ai casi nei quali la geometria del campo fotovoltaico era lineare, a causa del fatto che il disegnatore non aveva «chiuso» la polilinea in un poligono in fase di *editing* del campo; *b*) i disegni dei campi risultavano ancora non omogenei, seppur dopo la trasformazione in poligoni delle polilinee. Questo per il fatto che i vari campi fotovoltaici erano stati disegnati con diversi livelli di precisione. Alcuni disegnatori seguivano pedissequamente l'occupazione del suolo da parte dei vari pannelli solari, altri disegnavano un poligono meno preciso attorno ai vari pannelli, che comprendeva anche qualche zona di territorio non coperta dalle strutture energetiche.

Anche per i motivi ricordati, si pensa che, in ogni caso i dati estratti da OSM vadano sempre valutati con attenzione. Eventualmente questi possono aver bisogno di essere elaborati prima



del loro utilizzo. L'omogeneità dei dati di partenza assicura infatti una maggiore qualità al lavoro finale¹².

Riferimenti bibliografici

- Basiri Anahid, Mike Jackson, Pouria Amirian, Amir Pourabdollah, Monika Sester e Adam Winstanley (2016), *Quality Assessment of OpenStreetMap Data using Trajectory Mining*, in «Geo-spatial Information Science», 19, 1, pp. 56-68.
- Bennett Jonathan (2010), *OpenStreetMap: Be Your Own Cartographer*, Birmingham, PACKT Publishing.
- Berners-Lee Tim (1989), *Information Management: A Proposal*, CERN, <http://cds.cern.ch/record/369245/files/dd-89-001.pdf> (ultimo accesso: 22.IX.2019).
- Bishr Mohamed e Werner Kuhn (2013), *Trust and Reputation Models for Quality Assessment of Human Sensor Observations*, in Thora Tenbrink, John Stell, Antony Galton e Zena Wood (a cura di), *Spatial Information Theory, 11th International Conference, COSIT (Scarborough, 2013)*, Cham, Springer, pp. 53-73.
- Coast Steve (2015), *The Book of OpenStreetMap*, CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Elwood Sarah, Michael F. Goodchild e Daniel Z. Sui (2012), *Researching Volunteered Geographic Information: Spatial Data, Geographic Research, and New Social Practice*, in «Annals of the Association of American Geographers», 102, 3, pp. 571-590.
- Favretto Andrea (2014), *Coordinate Questions in the Web Environment*, in «Cartographica», 49, 3, pp. 164-174.
- Favretto Andrea (2016), *Cartografia nelle nuvole*, Bologna, Patron.
- Goodchild Micheal F. e Linna Li (2012), *Assuring the Quality of Volunteered Geographic Information*, in «Spatial Statistics», 1, pp. 110-120.
- Goodchild Micheal F. (2007), *Citizens as Sensors: The World of Volunteered Geography*, in «GeoJournal», 69, pp. 211-221.
- Gore Al (2017), *An Inconvenient Sequel: Truth to Power*, diretto da Bonni Cohen e Jon Shenk, Paramount Pictures.
- Gore Al (2017), *An Inconvenient Sequel: Truth to Power. Your Action Handbook to learn the Science, find Your Voice, and help solve the Climate Crisis*, New York, Rodale Books.
- IEA (2019a), *Global Energy & CO2 Status Report 2019*, Parigi, IEA, <https://www.iea.org/reports/global-energy-and-co2-status-report-2019> (ultimo accesso: 22.XI.2020).
- IEA (2019b), *Renewables 2019. Market Analysis and Forecast from 2019 to 2024*, Parigi, IEA, <https://www.iea.org/reports/renewables-2019> (ultimo accesso: 22.XI.2020).
- Mauro Giovanni e Vanni Lughì (2017), *Mapping Land Use Impact of Photovoltaic Farms Via Crowdsourcing in the Province of Lecce (Southeastern Italy)*, in «Solar Energy», 155, pp. 434-444.
- Mooney Peter e Marco Minghini (2017), *A Review of OpenStreetMap Data*, in Giles Foody, Linda See, Steffen Fritz, Peter Mooney, Ana-Maria Olteanu-Raimond, Cidália Costa Fonte e Vyrion Antoniou (a cura di), *Mapping and the Citizen Sensor*, Londra, Ubiquity Press, pp. 37-60.
- Neis Pascal e Dennis Zielstra (2014), *Recent Developments and Future Trends in Volunteered Geographic Information Research: The Case of OpenStreetMap*, in «Future Internet», 6, pp. 76-106.
- Peterson Michael P. (2014), *Mapping in the Cloud*, New York-Londra, Guilford Press.
- Ramm Frederik, Jochen Topf e Steve Chilton (2010), *OpenStreetMap. Using and enhancing the Free Map of the World*, Cambridge, UIT.
- Robinson Arthur H., Joel L. Morrison, Phillip C. Muehrcke, Jon A. Kimerling e Stephen C. Guptill (1995), *Elements of Cartography*, New York, Wiley & Sons.
- Schmidt Gavin A. e Derek Arndt (2020), *NOAA/NASA Annual Global Analysis for 2019. 2019 was 2nd warmest for globe*, <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/briefings/20200115.pdf> (ultimo accesso: 22.IX.2019).
- Senaratne Hansi, Amin Mobasheri, Ahmed Loai Ali, Cristina Capineri e Mordechai (Muki) Haklay (2016), *A Review of Volunteered Geographic Information Quality Assessment Methods*, in «International Journal of Geographical Information Science», 31, pp. 139-167.

Note

¹ Per una disamina più completa dei metodi di controllo di qualità dei dati forniti dai VGI, si veda Senaratne e altri (2016).

² si vedano le attuali linee di ricerca del gruppo e l'annessa bibliografia di riferimento su: <https://www.ageiweb.it/gruppi-di-lavoro/analisi-geografica-delle-fonti-di-energia/> (ultimo accesso: 05.XII.2020).

³ Si veda: <https://press.vatican.va/content/salastampa/it/bollettino/pubblico/2019/05/27/0454/00933.html> (ultimo accesso: 07.XI.2020).

⁴ L'India, insieme con USA e Cina, rappresenta quasi il 70% dell'incremento totale globale della domanda di energia nel 2018 (si veda IEA, 2019a e 2019b).

⁵ Per approfondire OSM si vedano, tra gli altri, i testi di: Coast (2015); Bennett (2010); Ramm, Topf e Chilton (2010); Neis e Zielstra (2014).

⁶ Si può vedere la struttura del database, che utilizza il software libero PostgreSQL come DBMS (*Database Management System*) su: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Database> (ultimo accesso: 22.IX.2020).

⁷ OpenLayers (<https://openlayers.org>) è una diffusa libreria di software cartografico, che permette la realizzazione di webGIS lato client (si veda, fra i tanti, Peterson (2014)).

⁸ Tale valore è stato calcolato dividendo l'area occupata dall'impianto per un fattore k, che rappresenta l'ammontare totale di occupazione per unità di potenza installata (per il calcolo di k si veda Mauro e Lughì, 2017).

⁹ Chi vuole approfondire la nuova modalità di utilizzo delle risorse informatiche detta *cloud computing* e le sue applicazioni nel campo della cartografia, può vedere il già citato Peterson (2014) o, anche, Favretto (2016).

¹⁰ Si veda, a proposito di *web Mercator* (EPSG 3857), Favretto (2014).

¹¹ Si vedano le diverse versioni della mappa per escursionisti, ciclisti ecc. - <https://openmtbmap.org/it/download/odbl/> (ultimo accesso: 23.X.2020).

¹² Per una valutazione critica dei dati di OSM si veda, fra gli altri: Basiri e altri (2016); Mooney e Minghini (2017).