

## Analisi spaziale in ambiente GIS per la valutazione paesaggistica ed energetica dei pannelli solari in ambito urbano

Nicola LISCIA (\*), Maurizio MINCHILLI (\*\*)

(\*) DADU, Dip.di Architettura Design Urbanistica, Univ. degli Studi di Sassari, E-mail: nicola.liscia@tiscali.it

(\*\*) DADU, Dip.di Architettura Design Urbanistica, Univ. degli Studi di Sassari, E-mail: minchilli@uniss.it

### Riassunto

Appare di crescente interesse assicurare un corretto equilibrio tra le scelte di pianificazione territoriale e quelle sulle fonti energetiche. Il momento di crisi economica che si sta attraversando impone lo sviluppo energetico delle città incentrato sull'utilizzo delle fonti rinnovabili sia perché più vantaggioso economicamente che per garantire un minore impatto ambientale. Per questi motivi le amministrazioni locali hanno la necessità di favorire l'integrazione, alle diverse scale, dei piani territoriali con i piani energetici, al fine di rendere anche la valutazione energetica un punto cardine nella pianificazione del territorio.

Viene illustrato un progetto pilota sulla città di Sassari con lo scopo di dimostrare come, grazie all'ausilio di analisi condotte in ambiente GIS, e avendo la disponibilità di modelli digitali accurati come quelli derivanti dalle tecnologie LIDAR, sia possibile determinare la potenzialità delle tecnologie solari su scala urbana. Sono state effettuate analisi di visibilità studi sull'ombreggiamento e una valutazione dell'irradiazione solare media annuale incidente sulle coperture.

### Abstract

A proper balance between the choices of land use-planning and the energy sources is increasingly essential. The current economic crisis requires an energy development of our cities focused on the use of renewable sources, because they give more economical benefits and ensure a lower impact on the environment. For these reasons, local governments need to facilitate the integration between spatial and energy plans, in order to make the energy assessment as a first point in the urban planning.

The paper reports a pilot project applied on the town of Sassari. It aims to demonstrate the resources of solar technology on a urban scale, with the backup of performed analysis in a GIS platform, and the availability of accurate digital models (such as those derived from LIDAR technologies). Viewshed analysis, shadows-effect studies and evaluation about the average year sunlight impacting on the buildings coverage are carried out.

### Introduzione

La pianificazione territoriale di dettaglio, a livello comunale, dovrebbe oggi essere particolarmente attenta anche agli aspetti energetici ed in particolar modo all'uso dell'energia da fonti rinnovabili. Assai di rado, in tali piani, vengono affrontate le problematiche connesse all'isolamento termico degli edifici, al loro orientamento ed illuminamento, alla costruzione di bacini di visibilità relativamente ad impianti a servizio dell'edilizia (come pannelli solari termici e fotovoltaici) e ad impianti per le telecomunicazioni.

Interessanti studi (C.Guggiardi et al. 2007, A.Minghetti et al. 2010, S.Bonesso et al. 2013,) sono stati spesso finalizzati all'ottimizzazione dei posizionamenti dei captatori di energia al fine della valutazione del migliore potenziale termico ottenibile o per il calcolo dell'energia complessiva acquisibile in aree urbane.

Questo studio vuole affrontare anche un problema più strettamente architettonico che, attraverso analisi svolte in ambiente GIS, permetta una valutazione del rischio che una elevata visibilità di tali impianti possa arrecare alla qualità estetica e paesaggistica delle nostre città e dei nostri territori suburbani.

### Stato dell'arte

Prima di arrivare alla definizione del progetto preliminare di integrazione paesaggistica ed energetica nella captazione dell'energia solare del progetto pilota proposto, risulta opportuno analizzare e valutare alcuni casi di studio equivalenti. Il primo dei quali riguarda un progetto, a cui uno dei coautori (N.Liscia) ha collaborato nell'anno 2013 presso lo studio di architettura di Marina Cervera Alonso de Medina e Josep Mercadè di Barcellona, che aveva come obiettivo quello di analizzare la vocazione di un tessuto urbano all'integrazione delle installazioni solari; dei progetti analizzati questo in particolare è risultato essenziale per comprendere appieno l'approccio necessario alle tematiche e alle metodologie da applicare nel lavoro di Sassari.

Questa esperienza è stata rilevante perché si è arrivati alla realizzazione di mappe tematiche che hanno facilitato l'individuazione di alcune zone della città con maggior fragilità visiva rispetto alle installazioni solari, il tutto partendo da alcuni dati di input opportunamente elaborati con applicativi GIS (struttura del tessuto urbano, della viabilità e ricostruzione della visibilità).

Nella fase di valutazione sono emerse principalmente tre problematiche a cui cercare di dare risposta:

- *problematiche energetiche*: necessità di orientare i captatori solari di energia con azimuth e inclinazione ottimale e problematiche legate al posizionamento degli impianti e delle condutture;
- *problematiche architettoniche*: possibilità di integrare i pannelli nel disegno/volumetria della copertura;
- *problematiche paesaggistiche*: necessità di avere bacini di visuale degli impianti molto ridotti;

Per prima cosa si è analizzata la struttura urbana a Barcellona, che ha evidenziato la presenza di tipologie di tessitura differenti, caratterizzate dalla loro densità (costruzione), dalla geometria (forma) che occupa la parte costruita dell'isolato e dall'orientamento degli assi stradali.

Una volta individuate cartograficamente le diverse tipologie di tessuto urbano presenti nella città di Barcellona, il passo successivo è stato quello di valutare il grado di adeguatezza di queste ultime nell'integrazione dei sistemi di captazione solare prendendo in considerazione l'orientamento della trama urbana. Una trama urbana con un netto orientamento Nord/Sud faciliterebbe l'integrazione di sistemi solari attivi negli edifici. Per questo aspetto il caso di Barcellona è paradigmatico, infatti gran parte della sua area urbana (*Example*) è ruotata di 45 ° rispetto al sud, eredità del *Projecto de Reforma Interior y Ensanche de Barcelona* elaborato da Cerdà nel 1859, e per questo motivo ancora più critico dal punto di vista energetico. Si è ricavato, dopo un'analisi in ambiente GIS, che nel caso in esame questo orientamento della trama urbana risulta ugualmente vantaggioso per le installazioni di pannelli solari termici e fotovoltaici, considerando che produce una diminuzione limitata del rendimento, rispetto all'orientamento più favorevole (asse Nord/Sud), quantificabile in un 5%. È stata elaborata dunque una cartografia che identifica le aree che favoriscono l'integrazione delle fonti energetiche rinnovabili, rispetto alla struttura delle strade e del loro orientamento.

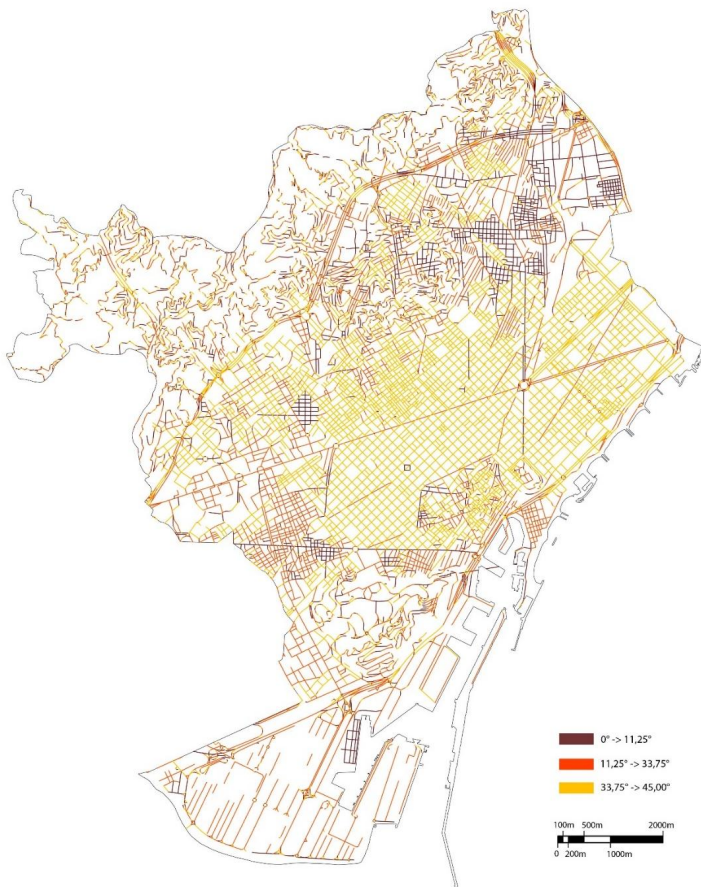


Figura 1 - Orientamento degli assi stradali nell'ambito urbano di Barcellona.

Infine sono stati individuati e mappati tutti gli spazi pubblici di Barcellona che presentano caratteristiche di maggiore fragilità per la morfologia del terreno, e per ognuno di essi è stata condotta un'analisi di visibilità.

È stata realizzata una carta generale della fragilità visiva nella quale si evidenziano, intorno a ogni spazio pubblico analizzato, tutti gli edifici compresi in un raggio di 500 metri che per legge dovranno in futuro rispettare criteri più restrittivi di integrazione in materia di installazioni di pannelli solari.

L'obiettivo di tutto questo lavoro è stato quello di fornire all'amministrazione locale un valido strumento di analisi e di supporto mirato a perseguire una corretta progettazione, programmazione e attuazione di politiche coerenti col contesto urbano.

La metodologia di lavoro elaborata è applicabile a diversi livelli di dettaglio e replicabile in altri contesti, come testimoniato da un caso studio analogo analizzato, il progetto pilota "Solar Polis" (M.Grauthoff et al. 2012), istituito alla fine del 2009 e co-finanziato dal programma Intelligent Energy Europe, attraverso il quale sei città europee hanno sviluppato strategie per la pianificazione urbana tenendo in considerazione criteri energetici, e promuovendo politiche a livello locale che supportano l'utilizzo dell'energia solare.

In questa analisi dello stato dell'arte è importante citare un ulteriore progetto, Bologna Solar City, che consiste in un'applicazione web, basata geometricamente sulla Carta Tecnica Comunale e

realizzata dall'ufficio del SIT del Comune di Bologna (A.Minghetti et al. 2010), finalizzata all'analisi dell'energia potenziale solare di tutte le coperture in ambito urbano. La particolarità di tale studio è che il lavoro, sviluppato e realizzato con metodologia GIS, è stato completato senza l'ausilio di un DSM ma ha richiesto la costruzione manuale di un modello 3D degli edifici.

### Basi di dati

Nella fase di costruzione del modello tridimensionale, su cui basare analisi geometriche in ambiente urbano ed extraurbano, sono necessari alcuni prodotti di origine cartografica e fotogrammetrica. Il riferimento geometrico di base rimane una cartografia vettoriale 3D in cui, con le tolleranze della grande scala (da 1:2.000 a 1:1.000), siano estraibili i poligoni dell'edificato.

Una ricostruzione dei volumi edificati sufficientemente aderente alla realtà, ma con costi elevati dovuti all'intervento manuale su ogni singolo edificio, richiede la ricostruzione della geometria delle coperture (a falde o piane).

La diffusione di set di dati acquisiti con tecnologie LIDAR (*Light Detection And Ranging*) consente, oggi, analisi di pari risoluzione ma con procedimenti del tutto automatizzati. La Regione Autonoma della Sardegna ha completato negli anni 2007-2008 una copertura del proprio territorio costiero, con tali metodologie di acquisizione, come supporto alla produzione di una ortofoto ad altissima risoluzione (GSD = 0,10 m). Vengono distribuiti i Modelli Digitali delle Superfici (DSM) relativi alla vegetazione ed all'edificato oltre ai normali DEM esprimenti la superficie del terreno con passo del reticolo pari a 1x1 m.

Un modello dell'ambiente urbano, costruito a partire da questo set di dati, ha permesso una ricostruzione delle volumetrie molto vicine alla realtà anche in assenza di una rigorosa modellazione delle superfici delle coperture che risulta possibile solo attraverso la ricostruzione manuale delle primitive geometriche di falde e/o coperture piane.

Le elaborazioni successive sono state svolte in ambiente GIS di cui sono state particolarmente apprezzate le prestazioni di alcuni plug-in specifici per le procedure Open Source.

Si è scelto di impostare uno studio approfondito nella zona a più alta densità edilizia della città di Sassari, al fine di stimare le potenzialità di utilizzo delle coperture degli edifici per l'implementazione di tecnologie solari contestualmente al loro impatto visivo.

Gli strati informativi utilizzati nel progetto sono quelli resi disponibili dalla Regione Sardegna che comprende oltre ai dati LIDAR, le cartografie vettoriali a grande scala (1:2.000) e le ortofoto ad altissima risoluzione, opportunamente elaborati in ambiente GIS. Successivamente sono state effettuate sia le analisi di visibilità (QGIS con plugin GRASS GIS) che gli studi sull'ombreggiamento e sull'irradiazione solare media incidente sulle coperture (ESRI ArcGIS).

### Costruzione dei bacini di visibilità

La visibilità di un elemento è strettamente dipendente dal campo visivo dell'osservatore (angolo di percezione e distanza) e dalle caratteristiche fisiche intrinseche dell'elemento osservato (dimensioni e posizione spaziale). L'analisi dei bacini visuali (*viewshed analysis*) è una tecnica di analisi spaziale che utilizza gli algoritmi delle *line of sight* (los) al fine di determinare il campo, o bacino, visuale rispetto alla posizione e all'orizzonte visivo di un osservatore.

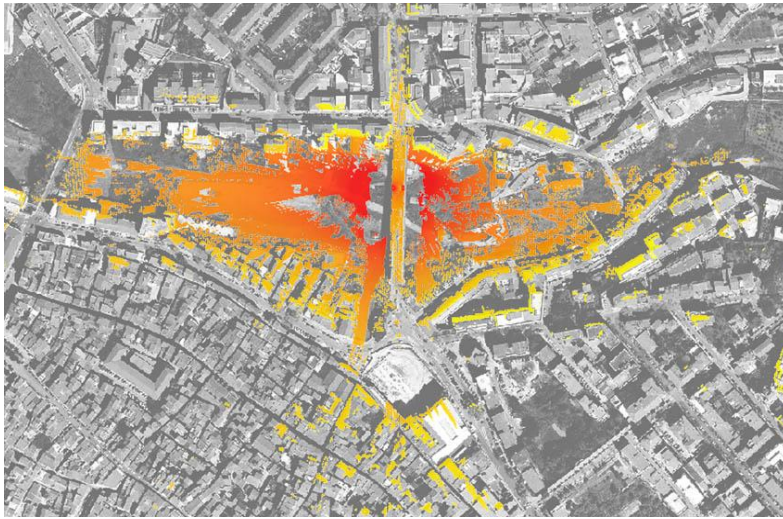


Figura 2 - Esempio di analisi di visibilità realizzata nell'ambito urbano di Sassari con punto di osservazione posizionato sul Ponte del Rosello.

Da un punto di vista operativo il software Quantum GIS ha consentito la realizzazione in ambito urbano di tale indagine, in modo attendibile e automatico.

- *Dati di input:* un DSM, le coordinate del punto di cui valutare l'intervisibilità e l'altezza dell'osservatore;
- *Dati di output:* una mappa raster che contiene nel DN di ogni pixel il valore di elevazione, rispetto al Nadir, sotto cui il pixel è visto rispetto al punto (NULL se non è visibile);

La mappa raster risultante è costituita solamente dalle celle del DSM visibili dall'osservatore, inoltre ogni cella riporta un valore variabile indicante l'angolo di percezione dell'osservatore calcolato rispetto al Nadir. In tale modo è possibile determinare non solamente *cosa si vede e cosa non si vede* ma anche valutare il *come si vede*.

Ciascun pixel, di valore variabile tra 0 e 180, indica l'angolo di vista dell'osservatore (0 verso il Nadir, 90 sull'orizzonte, 180 verso lo Zenit). Al di fuori delle aree colorate, invece, il valore è nullo e permette la valutazione della estensione del bacino di visibilità.

L'elaborato finale mostra chiaramente le coperture degli edifici, osservate da un punto di vista più elevato (angolo < 90°), che offrono il peggior impatto visivo e che dovranno in futuro essere regolamentate per rispettare criteri appropriati di integrazione per le installazioni di pannelli solari.

### Costruzione del modello delle ombre

Per garantire una resa ottimale di un impianto fotovoltaico in ambiente urbano è opportuno considerare nel dettaglio, prima della progettazione e installazione, l'ombreggiamento del sito (dovuto in parte dall'orografia del terreno e in parte dalle ostruzioni reciproche fra gli edifici). Gli ombreggiamenti possono provocare delle diminuzioni, temporanee o permanenti, del rendimento dell'impianto onerose per l'utente, rendendo sconsigliabile l'installazione di sistemi solari su superfici solo apparentemente idonee. Affrontare la problematica della gestione degli ombreggiamenti significa valutare l'esatta dinamica delle ombre che si muovono sull'impianto seguendo la posizione del sole. Tale movimento può essere determinato con precisione mediante uno studio andamentale delle ombre.

L'analisi è stata effettuata utilizzando l'apposito tool (*Hillshade*) presente in ambiente ESRI ArcGIS.

- *Dati di input*: un DSM, valori di azimuth e elevazione del sole riferiti alla latitudine di Sassari;
- *Dati di output*: una mappa raster dell'ombreggiatura del terreno e degli edifici con un effetto tridimensionale fornito dal rapporto luce - ombra;

Lo strumento permette di condurre analisi di ombreggiamento, basate su una serie di simulazioni di scenari, in funzione della differente posizione oraria del sole.

I valori degli angoli zenitali e azimutali richiesti sono stati ricavati applicando le equazioni geoastronomiche dei percorsi solari relativi alla latitudine della città di Sassari. La procedura è stata reiterata cinque volte per valutare le ombre in differenti fasi orarie in un dato giorno.

I raster di output, infine, vengono sovrapposti in trasparenza ad altri layer cartografici (ortofoto, cartografia tecnica) per una migliore leggibilità del tessuto urbano.



Figura 3 - Esempio di simulazione delle ombre relativa al giorno 22 aprile alle ore 10. Elevazione del Sole  $37,1^\circ$ , Azimuth  $107,53^\circ$  (centro urbano di Sassari).

### Mappe di irradiazione media

L'utilizzo di un diffuso tool, (*Area Solar Radiation*) in ambiente ArcGIS, ha reso possibile una efficace modellazione della radiazione solare globale a partire dal posizionamento geografico dell'area in esame, dalla scansione temporale impostata sui parametri di progetto e dalla percentuale di radiazione diffusa; questi ultimi valori vengono pubblicati in letteratura in funzione di varie situazioni legate sia all'altitudine media che alla struttura socio-abitativa.

Il prodotto dell'elaborazione è una mappatura, a struttura raster, in cui i DN sono legati alla radiazione solare globale annua. La scansione temporale è stata impostata sui dodici mesi dell'anno ed ha, quindi, considerato attraverso una segmentazione mensile le influenze stagionali sui valori energetici.

I risultati ottenuti mostrano come l'algoritmo sia in grado di valutare correttamente, oltre ai parametri geografici e temporali, anche l'influenza di eventuali ombre portate da ostacoli circostanti (naturali e/o artificiali in funzione della qualità e risoluzione dei DSM).

Una delle approssimazioni presenti riguarda l'esclusione della componente riflessa che, in ambiente urbano ed in presenza di molti materiali riflettenti tipici delle moderne tecnologie dell'architettura, potrebbe fornire valori correttivi non trascurabili. In questo caso la modellazione spaziale dei manufatti edili dovrebbe essere molto più raffinata, e costosa, in quanto richiederebbe la

ricostruzione di ogni superficie volumetrica con i relativi rapporti fra energia riflessa ed energia incidente.

L'aggregazione dei dati mensili ha permesso, infine, di valutare in modo semplificato la radiazione solare media annuale.

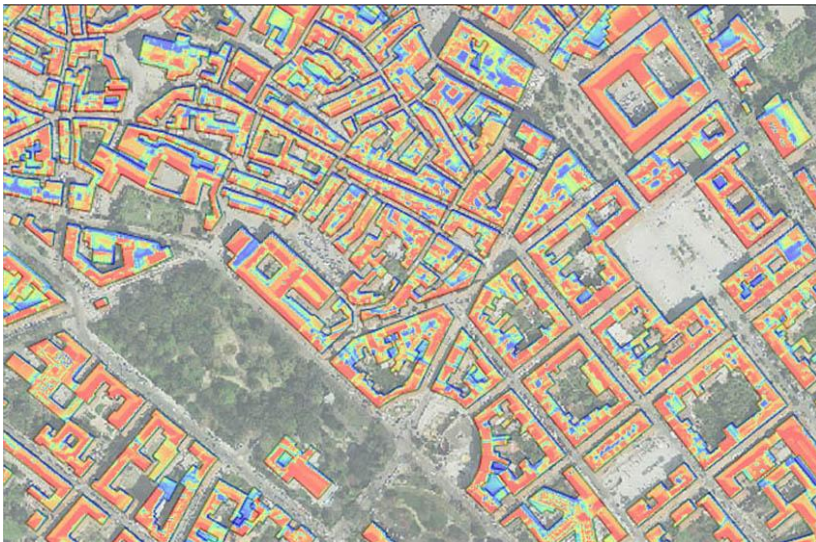


Figura 4 - Esempio di mappa di radiazione annuale media sugli edifici nell'area di studio.

## Conclusioni

Una esposizione sintetica dell'esperienza condotta consente solo alcune considerazioni finali che comprendono anche una valutazione globalmente positiva di alcune procedure presenti sia in S/W commerciali che O.S.; alcune di queste richiederebbero ulteriore sviluppo per alcune caratteristiche che ne rendono l'uso molto semplificato solo in presenza di DSM di buona qualità. Una maggiore diffusione di queste procedure comporterebbe (come mostra l'esperienza condotta a Barcellona) un ausilio alle decisioni, attraverso una regolamentazione più attenta del costruito e dei nuovi permessi a costruire, che tenga conto sia dei fattori energetici che degli impatti visivi in ambito urbano.

## Bibliografia

G. Priestnalla, J. Jaafara, A. Duncanb, "Extracting urban features from LiDAR digital surface models", Computers, Environment and Urban Systems, Elsevier, Volume 24, Issue 2-2000, Pages 65-78.

C.Gucciardi, G.Lascari, G.Rizzo, G.Scaccianoce, "Energia solare in area urbana. Tecniche GIS per la stima del potenziale", Rivista La Termotecnica n.1-2 2007, pagg.39-46.

A. Minghetti, P. Africani, L. Lorenzini, E. Paselli, "Bologna Solar City, una web application per l'analisi dell'energia potenziale: dalla stima della radiazione solare alla realizzazione dell'applicazione", Atti 14° Conferenza Nazionale ASITA, 2010.

M.Grauthoff, U.Jansenn, J.Fernandes, "Polis, Identification and mobilisation of Solar Potentials via Local Strategies", <http://www.poli-solar.eu>, 2012.

S.Bonesso, G.Mutani, T.Hubina, A.Ramassotto, "L'applicazione delle tecnologie fotovoltaiche integrate sulle coperture degli edifici con software GIS", Rivista Geomedia n.2-2013, pagg.6-11. <http://www.sardegnaegeoportale.it/webgis/catalogodati/metadatiDC?idMetadato=12413&idEnte=1>.