

# GENERAZIONE SEMIAUTOMATICA DI MODELLI TRIDIMENSIONALI URBANI PER LE ANALISI ENERGETICHE

## SEMIAUTOMATIC GENERATION OF 3D URBAN MODELS FOR ENERGETIC POLICIES

C. Danna<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Politecnico di Torino, DIATI, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, chiara.danna@polito.it

**PAROLE CHIAVE:** Fotogrammetria, DSM, analisi delle superfici, energia rinnovabile, GIS, Progetto DIMMER

**KEY WORDS:** Photogrammetry, DSM, surface analysis, renewable energy, GIS, DIMMER Project

### RIASSUNTO

In questo articolo si presenta lo studio svolto all'interno del Progetto DIMMER per la realizzazione di un sistema GIS utile per la valutazione del potenziale energetico degli edifici ubicati in ambito urbano. In questa fase preliminare il metodo è stato testato su una porzione della zona Crocetta nel Comune di Torino e verrà esteso alla restante area di interesse, dal momento che è stato possibile verificare che il metodo fornisce risultati attendibili.

Inizialmente sono stati testati, attraverso tecniche fotogrammetriche e software Structure from Motion (SfM), differenti metodi per la generazione del modello tridimensionale, in quanto è la base sulla quale si fondano le elaborazioni successive e quindi la bontà dei risultati. Le tecniche applicate sono state valutate e confrontate al fine di individuare le modalità migliori per creare, nei tempi più brevi e con la maggiore precisione e accuratezza, un buon modello. Identificate le modalità per la generazione del modello digitale di superficie (DSM) si è proceduto, tramite software GIS, con l'estrazione automatica delle informazioni utili a fini energetici e con la verifica della loro attendibilità, ovvero con la validazione del modello attraverso la comparazione con i dati reali. Concludendo, al fine di rendere disponibili i dati agli utenti finali, è stato costruito un sistema GIS.

### ABSTRACT

In this paper a study conduct within the DIMMER Project for the realization of a GIS for the potential energy evaluation of the buildings in the urban areas is presented. In this preliminary step the method was tested on a portion of Crocetta area in the Turin district. The process will be extended to other part of the investigated area, considering it is supposed to produce reliable results.

Initially, through photogrammetry techniques and Structure from Motion (SfM) software, different procedures for generation of 3D model were tested. In this step, different elaboration were necessary to achieve reliable results and use them within successive processing. Different procedures were evaluated and compared in order to identify the best process that generates a desired model. The selection of the best 3D model was done taking into account the timetable of the elaboration, the precision and the accuracy. In the second step, through GIS software, information useful for the energy purpose was extracted. The reliability of results was confirmed through a comparison with real data. Finally, in order to give back the information at the final consumers, a GIS tool was realized.

### 1. INTRODUZIONE

Il risparmio energetico e l'utilizzo di energia proveniente da fonti rinnovabili rappresentano tematiche sempre più importanti e presenti nella società attuale e pertanto risulta fondamentale conoscere il potenziale energetico degli edifici. Infatti, l'identificazione delle superfici adatte per l'installazione di impianti fotovoltaici o solari, in ambito rurale o urbano, svolge un ruolo di grande interesse sia per l'investitore privato sia per quello pubblico, in quanto consente la valutazione della convenienza e della fattibilità dell'investimento e la pianificazione dell'uso dell'energia, scegliendo con facilità le aree che più si prestano all'ubicazione dei pannelli. Per questo motivo risulta necessario realizzare un sistema che consenta di ottenere informazioni affidabili in modo automatico o semiautomatico.

Per la mappatura della radiazione solare è attualmente consolidato l'uso degli strumenti GIS (Agugiaro et al., 2012; Borfecchia et al., 2013; Nex et al., 2013), come dimostrato dai catasti solari di alcune città (ad esempio New York, Boston,

Bolzano, Morgex) disponibili sul web. Tuttavia, nella maggior parte dei casi, questi strumenti risultano limitati nel livello di dettaglio, in quanto non valutano la reale superficie disponibile e l'eventuale presenza di ingombri sulle coperture. Questa carenza è legata al fatto che queste applicazioni considerano territori piuttosto vasti e, in alcuni casi, sfruttano delle informazioni esistenti, che spesso non consentono una rappresentazione tridimensionale esatta (Bonesso et al., 2013).

In base a quanto introdotto, un metodo automatico per la generazione e l'analisi di modelli tridimensionali urbani è stato testato nel corso del Progetto DIMMER (District Information Modeling and Management for Energy Reduction), progetto più ampio promosso e cofinanziato dal Settimo Programma Quadro per la ricerca e lo sviluppo tecnologico dell'Unione Europea realizzato sulle città di Manchester e Torino. Il progetto (2013/2016), che prevede la collaborazione di diversi partner, quali industrie, centri di ricerca e università, tra cui il Politecnico di Torino, ha lo scopo di realizzare una piattaforma web open con funzionalità di elaborazione in tempo reale dei

dati, di visualizzazione e di monitoraggio dei consumi energetici e della produzione di energia proveniente da fonti rinnovabili. In particolare, in questo documento si descrivono i metodi per la generazione di un modello tridimensionale e le modalità di analisi e gestione dei dati in una piattaforma GIS. L'area sulla quale è stato testato il metodo corrisponde ad una porzione del Comune di Torino.

Inoltre, durante questo studio di ricerca, si sono anche provati e verificati dei software open source (OSS) mediante un confronto, laddove possibile, con quelli commerciali. È stata fatta questa scelta in quanto l'uso degli open source è destinato ad aumentare, dal momento che favoriscono una maggiore interoperabilità dei dati, consentono un risparmio, dato che non hanno costi di licenza e manutenzione, e forniscono il codice sorgente, che è un elemento chiave per monitorare e controllare le operazioni del software, consentendo così di adattarlo alle proprie esigenze (Neteler et al., 2012).

## 2. CASO STUDIO

L'area di studio sulla quale si è basata la ricerca si trova nel Comune di Torino ed è una porzione della zona "Crocetta" in cui gli edifici presentano dimensioni e geometria differenti (Figura 1).



Figura 1. Area di studio

I dati iniziali sono stati 10 fotogrammi aerei acquisiti nel 2007 per la realizzazione dell'ortofoto della Regione Piemonte, da un'altezza di volo pari a circa 900 m al fine di realizzare prodotti cartografici in scala nominale 1:2000, nei quali si devono rispettare in planimetria 0.40 m di precisione e 0.69 m di tolleranza, mentre in altimetria 0.40 m di precisione e 0.80 m di tolleranza (Brovelli et al., 2010). Le immagini sono state acquisite tramite camera digitale DMC (Digital Mapping Camera) della Z/I Imaging, che viene sfruttata per missioni fotogrammetriche aeree che richiedono alta risoluzione e precisione. La camera fornisce delle immagini digitali virtuali, che derivano dalla fusione delle informazioni acquisite simultaneamente dagli otto diversi sensori che la compongono (Diener et al., 2000). Le caratteristiche principali della camera utilizzata risultano: lunghezza focale 120 mm, dimensione del sensore 7680x13824 pixel e dimensione del pixel 12x12 µm.

Le immagini sono state fornite con i relativi parametri di orientamento, ovvero con i parametri di calibrazione della camera e con le coordinate dei centri di presa.

## 3. ELABORAZIONE DEI DATI: MODELLO 3D

L'elaborazione dei dati, come anticipato precedentemente, può essere suddivisa in differenti step, che risultano tra di loro strettamente correlati e dipendenti, quali: la realizzazione del modello tridimensionale, l'estrazione di informazioni di carattere energetico e la concretizzazione del GIS. In particolare, i risultati utili per fini energetici vengono fortemente influenzati dalla conformazione tridimensionale del territorio e pertanto, al fine di ottenere un buon risultato, si è deciso di sperimentare differenti metodi per la generazione del Modello Digitale di Superficie (DSM) (Aicardi et al., 2014).

### 3.1 Elaborazione manuale e image matching

Inizialmente, al fine di avere un risultato tridimensionale esatto con cui verificare l'affidabilità dei risultati ottenibili tramite image matching, si è proceduto manualmente tramite visione stereoscopica in Z-Map. In questa fase è stato possibile restituire gli oggetti di interesse, ovvero individuare i punti quotati e tracciare gli elementi bi/tridimensionali come ad esempio le coperture piane, le falde tridimensionali, le linee di gronda ecc, ottenendo un vettoriale tridimensionale (Figura 2). A questo punto, il risultato raggiunto tramite visione stereoscopica è stato trasformato con il software "home made" DDSMdaDXF in una nuvola densa di punti e in un modello digitale di superficie.

L'elaborazione manuale, ovvero la restituzione in Z-Map, l'editing e la generazione dei risultati finali, ha richiesto l'intervento umano continuo, e quindi dispendio di tempo (circa 100 ore) ed energia, ma è stata indispensabile per avere un parametro di confronto sicuro rispetto al quale testare i metodi successivi. Infatti, tramite regole empiriche, è stato possibile attribuire a questo risultato una precisione planimetrica pari a 0.09 m e una altimetrica pari a 0.12 m.



Figura 2. Vettoriale 3D ottenuto tramite restituzione manuale in Z-Map

In un secondo momento è stato possibile continuare con le elaborazioni di matching automatico, che sono state eseguite con due differenti software: il commerciale a basso costo PhotoScan di Agisoft ([www.agisoft.com/](http://www.agisoft.com/)) e la suite open source Apero-MicMac rilasciata dall'Istituto Geografico Nazionale francese (IGN) (Pierrot-Deseilligny & Cléry, 2011).

In entrambi i casi le immagini aeree e i relativi parametri di orientamento interno ed esterno sono stati utilizzati per orientare i fotogrammi, per generare la nuvola di punti e per ottenere il modello digitale di superficie e l'ortofoto.

Al fine di procedere con l'immagine matching è stato necessario, con entrambi i software, fissare i parametri di calibrazione della camera. Questo passaggio è stato indispensabile in quanto, come anticipato precedentemente, i fotogrammi di partenza sono stati acquisiti dalla DMC, che fornisce immagini che hanno già subito delle trasformazioni e che sono sprovviste dei dati exif, senza i quali non è possibile calcolare automaticamente i parametri di orientamento interno. In particolare, se non vengono fissati i parametri di calibrazione, PhotoScan non funziona, mentre MicMac calcola una lunghezza focale completamente errata (7,5 mm anziché 120 mm).

A questo punto, è stato possibile procedere con l'estrazione della nuvola di punti, la generazione del DSM e dell'ortofoto. L'elaborazione in PhotoScan è stata eseguita impostando una qualità alta, che ha permesso di ottenere una nuvola densa di 65.838.239 punti complessivi, mentre in MicMac utilizzando l'opzione Ortho in Malt (strumento semplificato di MicMac), che ha consentito di costruire una nuvola densa di 50.664.687 punti.

In entrambi i casi, per poter considerare validi i risultati ottenuti, si sono esaminati i valori residui relativi ai parametri di orientamento esterno, riportati nella Tabella 1, tramite i quali è stato possibile affermare che i risultati rispettano quanto prescritto dalle linee guida del CISIS (Brovelli et al., 2010) per la scala 1:2000 (0,40 m di precisione e 0,80 m di tolleranza).

|                    | PhotoScan | MicMac |
|--------------------|-----------|--------|
| Minimo [m]         | 0.090     | 0.711  |
| Massimo [m]        | 0.315     | 0.766  |
| Medio [m]          | 0.170     | 0.741  |
| Deviazione std [m] | 0.068     | 0.018  |

Tabella 1. Valori residui relativi ai parametri di orientamento esterno ottenuti da PhotoScan e da MicMac

I risultati finali, utili nelle fasi successive, sono le nuvole di punti e i DSM (pixel 0.20x0.20 m), che vengono riportati relativamente a PhotoScan nella Figura 3 e relativamente a MicMac nella Figura 4.



Figura 3. Nuvola di punti (a sinistra) e DSM (a destra) ottenuti con PhotoScan

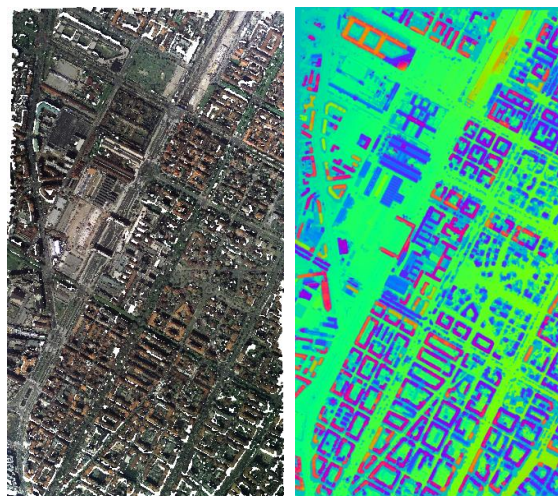


Figura 4. Nuvola di punti (a sinistra) e DSM (a destra) ottenuti con MicMac

Le elaborazioni di image matching sono state eseguite sull'intera area di presa, non solo sulla area di interesse come nel caso manuale, e hanno richiesto un paio di ore per generare i risultati finali.

### 3.2 Confronto dei risultati

Le nuvole di punti e i DSM ottenuti tramite image matching sono stati confrontati con i risultati derivati dalla restituzione manuale, al fine di valutare la loro precisione e completezza.

#### 3.2.1 Confronto tra nuvole.

Il confronto tra le nuvole di punti è stato eseguito con CloudCompare, OSS che permette di analizzare e gestire nuvole di punti 3D con diversi strumenti (Girardeau-Montaut, 2011). Prima di procedere con il confronto, si è provveduto alla definizione dell'area di interesse, che è stata posta pari a quella restituita manualmente, in modo da non avere errori esterni che influenzassero il risultato. L'analisi è stata eseguita tramite il comando *CloudDistance* in cui è stato sufficiente definire il ruolo delle stesse, ovvero indicare la nuvola di riferimento (in questo caso quella manuale) e la nuvola di comparazione, e attendere alcuni secondi per la visualizzazione dei risultati. Il calcolo, avvenuto in maniera automatica, ha restituito un risultato numerico, ovvero i valori statistici riportati nella Tabella 2, e un risultato grafico, vale a dire una nuvola di punti che, in funzione del colore attribuito ad ogni elemento, mette in evidenza le differenze tra le nuvole stesse.

|                    | PhotoScan | MicMac |
|--------------------|-----------|--------|
| Minimo [m]         | 0         | 0      |
| Massimo [m]        | 3.687     | 2.960  |
| Medio [m]          | 0.565     | 0.815  |
| Deviazione std [m] | 0.597     | 0.486  |

Tabella 2. Valori statistici relativi al confronto tra nuvole

Inoltre, per poter valutare l'accuratezza dei risultati è stato possibile, tramite degli istogrammi relativi ad ogni confronto, indagare la percentuale di somiglianza tra le nuvole, ottenendo i risultati riportati in Tabella 3.

|        | PhotoScan | MicMac  |
|--------|-----------|---------|
| 0.40 m | 49.34 %   | 17.81 % |
| 0.80 m | 83.24 %   | 57.02 % |
| 1.20 m | 91.31 %   | 86.17 % |

Tabella 3. Valori percentuali relativi al confronto tra nuvole

Analizzando i risultati ottenuti dal confronto tra nuvole è stato possibile stabilire che l'output di PhotoScan risulta più accurato, mentre quello di MicMac più preciso.

### 3.2.2 Confronto tra DSM.

Il confronto tra i modelli digitali di superficie è stato eseguito con QGIS, programma open source desktop GIS (<http://www.qgis.org/>).

Il DSM manuale e il DSM di PhotoScan sono stati utilizzati per la comparazione così come sono stati generati, mentre per MicMac sono stati necessari passaggi intermedi. Infatti, per la generazione di un DSM confrontabile con i precedenti, si sono sperimentate due modalità. Una strada è stata quella di interpolare all'interno di QGIS la nuvola di punti densa precedentemente verificata, mentre una seconda alternativa è stata quella di correggere il DSM fornito da MicMac, dal momento che, nella produzione del file .tiff, l'altezza viene calcolata considerando la risoluzione altimetrica e rispetto ad un'origine arbitraria. Tale correzione è stata possibile all'interno di QGIS applicando la relazione "(raster \* risoluzione altimetrica) + origine altimetrica".

Inoltre, al fine di concentrarsi sulla comparazione delle coperture, che risultano gli elementi di principale interesse per l'obiettivo di questo studio, sono state svolte alcune operazioni di omogeneizzazione. Infatti, oltre alla definizione delle estensioni comuni dei DSM, già eseguita per il confronto tra nuvole, si è deciso di applicare sui DSM stessi una maschera, prendendo come riferimento le sole aree edificate individuate all'interno della carta tecnica del Comune di Torino (in scala 1:2000).

Stabiliti i DSM definitivi per quest'analisi, è stato possibile procedere con il confronto, che è stato eseguito tramite un opportuno comando di analisi delle differenze. I risultati, ottenuti automaticamente confermato il comando di input, sono stati di tipo grafico (Figura 5) e numerico (Tabella 4).

|                    | PhotoScan | MicMac  | MicMac +QGIS |
|--------------------|-----------|---------|--------------|
| Minimo [m]         | -21.440   | -21.518 | -20.990      |
| Massimo [m]        | 35.204    | 35.095  | 37.155       |
| Medio [m]          | 0.245     | 0.593   | 0.666        |
| Deviazione std [m] | 1.228     | 1.825   | 3.290        |

Tabella 4. Valori statistici relativi al confronto tra DSM

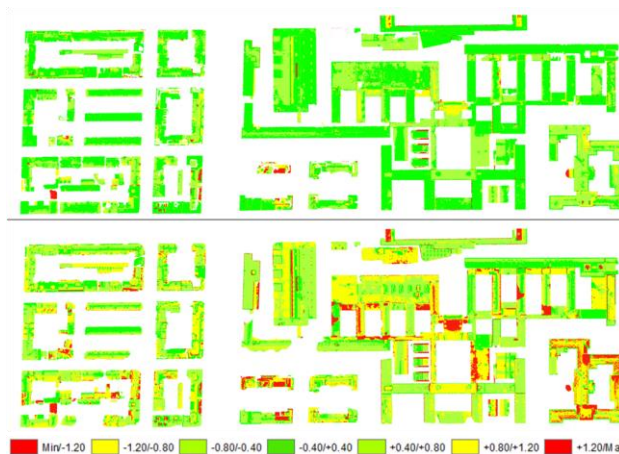


Figura 5. Confronto tra DSM: Manuale – PhotoScan (sopra) e Manuale – MicMac (sotto)

Anche in questo caso, per valutare l'accuratezza dei risultati, è stato possibile, tramite gli istogrammi relativi ad ogni confronto, indagare la percentuale di somiglianza tra i DSM, ottenendo i risultati riportati in Tabella 5.

|        | PhotoScan | MicMac  | MicMac +QGIS |
|--------|-----------|---------|--------------|
| 0.40 m | 57.03 %   | 16.75 % | 15.83 %      |
| 0.80 m | 89.92 %   | 58.96 % | 55.49 %      |
| 1.20 m | 95.83 %   | 87.30 % | 82.54 %      |

Tabella 5. Valori percentuali relativi al confronto tra DSM

Esaminando i risultati ottenuti è stato possibile stabilire che, sia in termini di precisione che di accuratezza, è il DSM di PhotoScan quello che più si avvicina a quello manuale.

### 3.3 Generazione finale del Modello 3D

Dal momento che, dai confronti analizzati, è emerso che le elaborazioni eseguite con PhotoScan restituiscono risultati più completi e precisi, si è deciso di compiere con questo software un passo ulteriore. Infatti, nei risultati precedentemente ottenuti, sia con PhotoScan sia con MicMac, si sono notate alcune zone rumorose in corrispondenza delle zone d'ombra e delle coperture scure, rumorosità prevedibile dal momento che i DSM fotogrammetrici risultano condizionati da molteplici fattori, ovvero dalla qualità radiometrica e dalla sovrapposizione delle immagini, dalla presenza di ombre e dalla tessitura degli edifici (Chiabrando et al., 2014), e pertanto si è deciso di approfondire lo studio prima di continuare.

In particolare, si sono modificate le immagini originali (identificate successivamente con A) in termini di valori tonali (B), di toni di grigio (C), di toni di grigio con modifica dei valori tonali (D) e di esposizione (che non viene approfondita visti i problemi riscontrati nella fase di orientamento dei fotogrammi), in modo di ridurre le zone d'ombra e le zone scure e di valutare l'eventuale cambiamento nelle zone di rumore. Per ogni tonalità si è proceduto con la creazione di un nuovo progetto e con la ripetizione dell'intero procedimento (allineamento dei fotogrammi, estrazione della nuvola di punti e del DSM). Le elaborazioni sono state eseguite parallelamente nei diversi progetti in maniera del tutto automatica e hanno restituito gli output in tre ore.

I risultati ottenuti hanno permesso di confrontare i parametri di errore e di valutare le diverse zone di rumore e ciò che è emerso

è una similarità dei parametri di precisione (Tabella 6) e una differenza di contenuti (Figura 6 e Figura 7).

|                    | A     | B     | C     | D     |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| Minimo [m]         | 0.090 | 0.092 | 0.091 | 0.088 |
| Massimo [m]        | 0.315 | 0.293 | 0.315 | 0.290 |
| Medio [m]          | 0.170 | 0.155 | 0.174 | 0.161 |
| Deviazione std [m] | 0.068 | 0.063 | 0.068 | 0.062 |

Tabella 6. Valori residui relativi ai parametri di orientamento esterno ottenuti da PhotoScan analizzando le diverse tonalità



Figura 6. Confronto su uno stralcio dell'area di interesse nelle diverse tonalità (A, B, C, D)



Figura 7. Indicazione delle principali differenze di completezza sui DSM generati in PhotoScan nelle diverse tonalità

Le informazioni che si sono ottenute dalle diverse elaborazioni, dal momento che non avevano una differenza sostanziale in termini di precisione, sono state fuse, impostando di prendere

come riferimento il risultato A e di integrarlo in corrispondenza delle zone di rumore. In questo modo è stato possibile ottenere una nuvola più densa e un DSM più completo. In particolare, analizzando il DSM relativo all'area di interesse, riportato in Figura 8, si può notare come con questa aggregazione sia stato possibile ottenere un quadro completo delle coperture presenti all'interno dell'area.



Figura 8. DSM ottenuto dalla combinazione dei risultati derivati dalle elaborazioni eseguite sulle diverse tonalità

#### 4. GIS PER L'ANALISI ENERGETICA

##### 4.1 Estrazione dei dati e validazione

Partendo dai modelli digitali ottenuti, in particolare da quello manuale e da quello di PhotoScan, che è risultato più preciso e completo rispetto a MicMac, è stato possibile ricavare, tramite software GIS, informazioni utili a fini energetici, come l'esposizione, la pendenza e la radiazione solare (Lingua & Noardo, 2015).

Per l'estrazione di tali informazioni sono disponibili differenti software, commerciali e open source, come ad esempio Esri ArcGIS, Saga GIS e GRASS GIS, tra i quali si è deciso di scegliere GRASS GIS (<http://grass.osgeo.org/>) in quanto, come dimostrato dai vari studi nei quali è stato utilizzato e testato, consente di ottenere risultati affidabili (Agugiaro et al., 2012; Hofierka & Kaňuk, 2009; Hofierka & Šuri, 2002).

Inizialmente, sulla base dei DSM raggiunti, si è provveduto all'estrazione, tramite l'algoritmo *r.slope.aspect*, delle informazioni relative all'esposizione (Figura 9) e alla pendenza (Figura 10). Analizzando i risultati ottenuti è stato possibile notare che i dati estratti dal DSM manuale risultano molto puliti mentre quelli derivati dal DSM di PhotoScan presentano alcune zone di rumore. In particolare, indagando con delle analisi puntuali, è stato possibile affermare che le informazioni estratte dal DSM ottenuto tramite image matching risultano affidabili, in quanto simili al risultato manuale, e che l'unico problema viene riscontrato in corrispondenza delle coperture piane che, nell'analisi dell'esposizione, non vengono riconosciute come tali. Per risolvere questo problema sarebbero necessari i dati

LiDAR della zona, così da poterli integrare alle tecniche di image matching (Lingua et al., 2010).

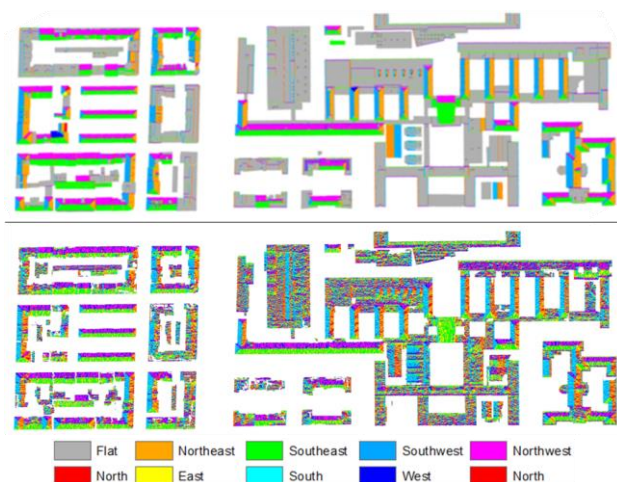


Figura 9. Analisi relativa all'esposizione sulla base del DSM manuale (sopra) e del DSM di PhotoScan (sotto)

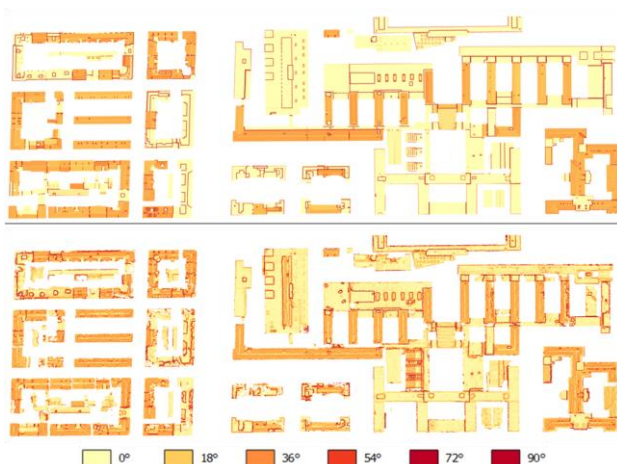


Figura 10. Analisi relativa alla pendenza sulla base del DSM manuale (sopra) e del DSM di PhotoScan (sotto)

A questo punto si è potuto procedere con il calcolo del potenziale energetico, che è stato realizzato con il comando *r.sun* (Agugiaro et al., 2012; Nex et al., 2013). L'algoritmo selezionato permette di calcolare cinque differenti mappe, quali *irradiation layer*, *insolation time*, *diffuse irradiation layer*, *ground reflected irradiation layer* e *global irradiance/irradiation layer*, in condizioni di *clear-sky* (Šuri & Hofierka, 2004). L'analisi non si basa solo sul DSM, ma è funzione di differenti fattori, quali: esposizione, pendenza, latitudine, longitudine, angolo di declinazione solare, torbidità dell'aria, percentuale di componente diffusa ecc. Inoltre, l'algoritmo consente di selezionare i giorni in cui eseguire l'analisi e di scegliere se incorporare o meno le ombre nel risultato raster finale. In questo caso, al fine di testare il metodo, si è deciso di eseguire il calcolo per i giorni di solstizio ed equinozio e di incorporare le ombre all'interno dei risultati. Lanciato il comando è stato sufficiente attendere un paio di minuti per ottenere le mappe. Analizzando la Figura 11, in cui vengono riportate le mappe raster della radiazione globale del solstizio d'estate (giorno 172) sulla base del DSM manuale e di PhotoScan, si può notare la similarità dei risultati grafici e la presenza delle zone d'ombra in corrispondenza dei camini, degli abbaini o degli altri elementi tridimensionali.

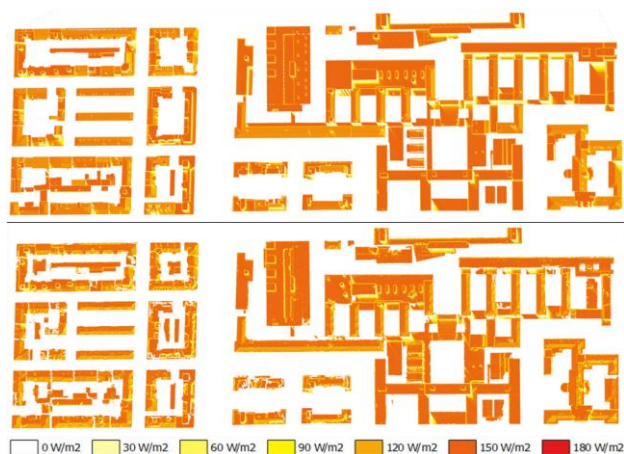


Figura 11. Analisi sull'irradiazione solare, al giorno 172, sulla base del DSM manuale (sopra) e del DSM di PhotoScan (sotto)

Inoltre, dopo questo primo confronto tra i risultati grafici ottenuti, è stato eseguito un confronto con i valori stabiliti dalla norma UNI 10349 per la Città di Torino, al fine di verificare l'attendibilità dei risultati in termini numerici e di andamento. Per eseguire questo controllo è stato necessario effettuare casualmente alcune interrogazioni sulle coperture, ovvero eseguire più interrogazioni per ogni esposizione, che sono state mediate, ottenendo un solo valore di confronto (uno per ogni esposizione). I valori ottenuti sono stati riportati nella Figura 12, in cui è possibile notare come i valori derivati dall'estrazione dei dati sulla base dei DSM precedentemente generati risulta ragionevole e affidabile, vista la vicinanza a quelli stabiliti dalla normativa. Inoltre, è possibile affermare che non esiste una differenza sostanziale tra le informazioni estratte dal DSM manuale e dal DSM di PhotoScan.

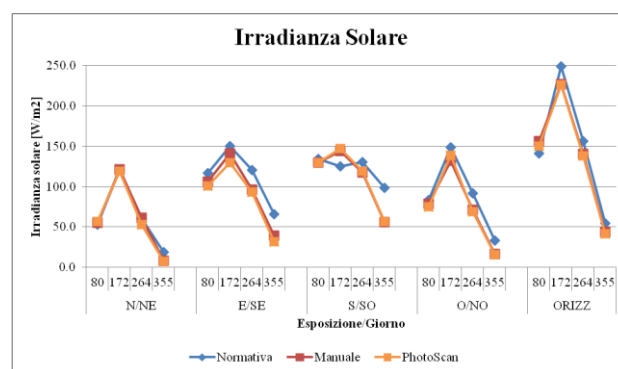


Figura 12. Confronto sui valori di irradiazione solare ottenuti dalla norma UNI 10349 e dall'estrazione delle informazioni sulla base del DSM manuale e del DSM di PhotoScan

## 4.2 GIS

I dati ricavati dovranno essere resi disponibili alla pubblica amministrazione e agli utenti privati per la valutazione del potenziale energetico del distretto o dell'edificio e pertanto è stato necessario sperimentare un metodo per la costruzione del GIS. In particolare, anche per questa elaborazione, nonostante le piattaforme a disposizione siano numerose, si è deciso di utilizzare l'open source QGIS.

Inizialmente, sono state inserite all'interno del software le mappe raster relative all'elevazione del terreno, all'esposizione, alla pendenza e alla radiazione solare, che fin da subito hanno permesso di fornire informazioni tramite un'interrogazione



Earth and Water Information in GIS. *GISTAM 2015: 1st International Conference on Geographical Information System Theory, Application and Management. Barcelona, Spain, 27-30 April 2015.*

Nex, F., Remondino, F., Agugiaro, G., De Flippi, R., Poletti, M., Furlanello, C., Menegon, S., Dallago, G., Fontanari, S., 2013. 3D Solarweb: A solar cadaster in the Italian Alpine landscape. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1(2), pp. 173-178. *ISPRS2013-SSG, Antalya, Turkey, 11 – 17 November 2013.*

#### **Riferimenti da libri**

Borfecchia, F., Pollino, M., De Cecco, L., Martini, S., La Porta, L., Marucci, A., Caiaffa, E., 2013. Integrated GIS and remote sensing techniques to support PV potential assessment of roofs in Urban areas. In *Computational Science and Its Applications–ICCSA 2013*, pp. 422-437. Springer Berlin Heidelberg.

Brovelli M.A., Cilloccu F., Crespi M., Dequal S., Lingua A.M., 2010. *Ortoimmagini 10K e modelli altimetrici – Specifiche tecniche*, CISIS.

Brovelli M.A., Cina A., Crespi M., Lingua A.M., Manzano A., 2010. *Ortoimmagini e modelli altimetrici a grande scala – Linee guida*, CISIS.

Diener, S., Kiefner, M., Dörstel, C., 2000. Radiometric normalisation and color composite generation of the DMC. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B1; PART 1), pp. 82-88. Amsterdam 2000.

Hofierka, J., Kaňuk, J., 2009. Assessment of photovoltaic potential in urban areas using open-source solar radiation tools. *Renewable Energy*, 34(10), pp. 2206-2214.

Lingua, A., Nex, F., Rinaudo, F., 2010. Integration of airborne laser scanner and multi-image techniques for map production. In *Remote Sensing*, pp. 783107-783107. International Society for Optics and Photonics.

Šúri, M., Hofierka, J., 2004. A new GIS based solar radiation model and its application to photovoltaic assessments. *Transactions in GIS*, 8(2), pp. 175-190.

#### **Altri riferimenti stampati**

UNI 10349, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici – Dati climatici, Aprile 1994.