

Sperimentazione di una metodologia per la stima del potenziale solare in un centro storico

Stefano Pili

Dipartimento di Ingegneria Civile, ambientale ed Architettura (DICAAR) Univ. Studi di Cagliari,
via Marengo 2 Cagliari (CA), stefano.pili@unica.it

Abstract

Il contributo riguarda la definizione e la sperimentazione di una metodologia per valutare il potenziale delle tecnologie solari in contesti urbani di pregio paesaggistico come i centri storici. L'obiettivo è sviluppare una procedura semplice e facilmente ripetibile nel contesto della Regione Autonoma della Sardegna (RAS), pensata principalmente per i centri storici delle comunità più piccole caratterizzate da limitate risorse.

La procedura utilizza tools di analisi spaziale presenti nelle più diffuse piattaforme GIS ed è basata sulla SDI della (RAS) e su informazioni facilmente ricavabili dalla conoscenza di sfondo dei Piani Particolareggiati del Centro Storico (PPCS) che stanno avendo un'ampia diffusione nel territorio regionale.

L'articolo presenta brevemente la metodologia ed una sintesi dei risultati di una sperimentazione in un piccolo centro storico della RAS. La metodologia è utilizzata per stimare gli effetti sul potenziale di alcune possibili scelte strategiche che riguardano aspetti normativi.

1. Introduzione: contesto teorico ed obiettivo

L'adeguamento tecnologico e l'efficientamento energetico sono considerati elementi strategici per il recupero ed il riutilizzo del patrimonio edificato storico, specie nei centri di minore dimensione. L'obiettivo della sperimentazione è sviluppare uno strumento per supportare le Amministrazioni Locali nella definizione di strategie per l'integrazione delle tecnologie solari nel centro storico tramite la stima del loro potenziale e la valutazione dell'influenza di alcuni fattori limitanti.

Per rendere la metodologia esportabile nei centri storici della RAS, si è definita una procedura principalmente basata algoritmi consolidati ed, al fine di minimizzare i costi, essa utilizza dati di ingresso facilmente reperibili in ambito regionale. La metodologia è sviluppata in ambiente GIS per garantire la più ampia interoperabilità dei risultati: ciò facilita la rappresentazione attraverso mappe e grafici e può supportare la diffusione allargata dell'informazione nel WEB anche rivolta ad un utenza non tecnica.

La stima del potenziale adotta l'approccio top-down proposto da alcuni autori definendo diversi potenziali (Angelis-Dimakis et al., 2011):

- potenziale teorico o fisico, basato sull'irraggiamento solare sulle coperture degli edifici;
- potenziale tecnico, frazione di quello teorico resa disponibile dai sistemi di conversione dell'energia solare;

- potenziale sfruttabile o utilizzabile, frazione del potenziale tecnico verosimilmente disponibile considerando diversi tipi di limiti specifici (economici, normativi, gestionali, culturali..).

Questo approccio contribuisce ad esplicitare gli elementi che ostacolano di maggiormente l'utilizzo delle FER in modo da definire strategie per il loro superamento. Le metodologie per la determinazione del potenziale teorico possono essere considerate consolidate, mentre le stime del potenziale tecnico e sfruttabile, hanno ancora un carattere sperimentale perché sono legate ad aspetti specifici del contesto, non sempre facilmente misurabili (tecnologie utilizzate, limiti sociali, culturali, normativi, ..).

2. Metodologia

La metodologia utilizza come dati di base per il calcolo dei diversi potenziali gli Open Data geografici della RAS e gli studi di dettaglio sul patrimonio edilizio ed il paesaggio che costituiscono la conoscenza di sfondo dei PPCS. L'unità spaziale minima per la quale sono calcolati i potenziali, è la copertura (o meglio la falda nel caso di copertura inclinata) caratterizzata da: superficie, orientamento ed inclinazione. La procedura inizia con il calcolo del potenziale teorico per ogni copertura del centro storico e poi applica alcuni fattori limitanti (tecnici, economici e normativi) per arrivare alla stima del potenziale sfruttabile. In questo lavoro si approfondirà lo studio dell'influenza sul potenziale dei limiti normativi, che possono riferirsi ad approcci più consolidati in letteratura, lasciando l'esplicitazione di altri fattori a successivi approfondimenti.

2.1 Potenziale teorico

L'irraggiamento solare teorico sulle coperture è stato ricavato tramite una procedura consolidata che utilizza il tool GIS *Solar analyst* (Argis 10.4) (Chow et al. 2014). Il tool è capace di calcolare la radiazione solare diretta e diffusa su superfici orizzontali ed inclinate considerando l'ombreggiamento per diversi intervalli temporali (anno, mese, giorno, ora). Esso richiede come input un modello raster delle coperture (DSM) e del contesto ed alcuni parametri climatici per il settaggio della simulazione solare (modello di cielo, radiazione della volta celeste,..). I parametri climatici sono stati calibrati con i valori di irraggiamento solare locale tratti da PVGIS, mentre per tenere conto degli ombreggiamenti dati dall'orografia, il DSM del Centro Storico è stato integrato con il DTM dell'area vasta (fonte: GeoDB RAS).

Il risultato è un raster con il valore di irraggiamento mensile al mq per ogni cella che poi è aggregato spazialmente rispetto alle coperture e le tettoie estratte dal DB topografico del PPCS.

2.2 Potenziale tecnico

In questa sede ci si limiterà a stimare il potenziale delle tecnologie di pannelli fotovoltaici localmente più diffuse, che sono state individuate grazie al contributo di alcune aziende specializzate locali. Il tipo di installazione largamente preponderante è grid - connected; da alcuni anni, per sfruttare meglio i meccanismi di incentivazione basati sull'autoconsumo, si sta

diffondendo anche l'uso delle batterie di accumulo. Il tipo di pannello policristallino o cristallino è quello più utilizzato, comunque, da un'analisi più ampia del mercato, si possono individuare altre tecnologie, che godono di una certa diffusione in ambito regionale (Figura - 1).

Parametri/Pannelli	Mono/poli cristallino [Atersa A230P]	silicio amorfo [Solibro SL2-115]	film sottile CIGS [SHUCO MPE 100]
Efficienza standard [%]	14,1	7,0	12,2
Densità di potenza [Wp/m ²]	138,0	70	121,7
Costo installazione [€/kWp]	2000	2300	2600
Costo accumulo [€/kWp]	3500	3800	4100
<i>Nota: il mono/ poli cristallino ha rendimenti più alti e costi inferiori ma è più influenzato da orientamento, ombreggiamento e temperatura</i>			

Figura 1 - tecnologie utilizzate per il calcolo del pot. Tecnico

Lo studio di fattibilità tecnico-economica di un impianto fotovoltaico domestico si basa su parametri e metodologie note (Caffarelli et al. 2013), tuttavia passando alla scala urbana si possono utilizzare solo le informazioni disponibili, o facilmente ricavabili, per tutte le coperture dell'area di studio. I fattori limitanti derivano dall'interazione tra la tecnologia e il sito, e, nel nostro caso, interessano principalmente la determinazione della superficie utile della copertura. L'accesso ad un alto livello di irraggiamento è il principale *fattore limitante* (F1) per la valutazione della fattibilità tecnico economica dell'impianto, ma esso influenza in maniera differente le tecnologie adottate. Le coperture con maggiore irraggiamento sono adatte ad ospitare i pannelli cristallini, i pannelli amorfi possono avere buone rese anche con irraggiamenti minori, mentre alcune coperture sono da sconsigliare. Le coperture sono state raggruppate in tre classi:

- classe 1 = Irr. Annuo > di 1500 kWh/m², adatta ai cristallini ed amorfi.
- classe 2 = Irr. Annuo tra 1150 e 1500 kWh/m², adatta ai pannelli amorfi.
- classe 3 = Irr. Annuo < 1150 kWh/m², non adatto ai pannelli fotovoltaici.

Nel nostro clima si installano abitualmente pannelli cristallini con massimo un orientamento Est/Ovest, perciò il valore di soglia della prima classe è stato definito circa pari all'irraggiamento di una falda orientata ad Est/Ovest priva di ombreggiamento, ossia circa l'80% del massimo valore registrato nel contesto. L'altra soglia è stata impostata a circa il 60% dell'irraggiamento massimo, per non far aumentare troppo il tempo di ritorno dell'investimento.

Si sono impostati anche altri *fattori limitanti* che influenzano la superficie utile disponibile:

- F2. *Dimensione minima della copertura:* le coperture troppo piccole (poligoni < 3mq) che darebbero difficoltà al posizionamento dei pannelli sono state eliminate.
- F3. *Presenza del camino:* il DTM non contiene informazioni sui camini, ma utilizzando l'ortofoto li possiamo facilmente identificare, per ogni camino presente si sono sottratti 2mq alla superficie utile.

- F4. *Tipo di installazione*: il campo fotovoltaico non può coprire tutta la superficie della copertura per lasciare i passaggi per la manutenzione, si è sottratto il 15% per installazione su falda e il 40% per copertura piana.

Il potenziale tecnico è stato calcolato per quattro scenari ottenuti combinando le tecnologie (Figura 1) con il fattore limitante F1:

- scenario 1: pannelli cristallini, nelle coperture di classe 1;
- scenario 2: pannelli silicio amorfo CIGS, nelle coperture di classe 1 e 2;
- scenario 3: pannelli silicio amorfo, nelle coperture di classe 1 e 2;
- scenario 4: pannelli cristallini, nelle coperture di classe 1, pannelli CIGS, nelle coperture di classe 2 delle UMI prive di coperture in classe 1.

2.3 Potenziale sfruttabile: limiti normativi

Uno dei limiti più stringenti nei contesti di pregio storico sono sicuramente i limiti normativi essenzialmente riferibili alle norme di tutela e valorizzazione del paesaggio e dei beni storico culturali (DL 42/2004). Per favorire la diffusione di un corretto inserimento delle tecnologie rinnovabili nei Centri Storici, la RAS fornisce alcune linee di indirizzo per l'installazione che definiscono i nostri *fattori limitanti normativi*:

- F5. *Visibilità della copertura*: l'impianto non deve essere visibile dallo spazio pubblico (strade, piazze,..) del centro storico;
- F6. *Valore storico dell'edificio*: i pannelli non devono essere installati nelle coperture degli edifici realizzati con tecniche tradizionali;
- F7. *Reversibilità dell'intervento*: l'impianto deve essere facilmente rimuovibile;

Per valutare la visibilità delle coperture (F5) dallo spazio pubblico si è utilizzato il tool *visibility* (ESRI - Arcgis 10.4): che utilizza come dato di input il DEM del contesto ed i punti di vista. I punti di vista sono stati posti ad intervalli regolari nelle strade e nelle piazze ad 1,60m dal terreno. Il risultato del tool è un raster che individua le celle visibili e non visibili dai punti di osservazione: tutte le coperture risultate visibili per almeno il 20% della propria superficie sono state ritenute non utilizzabili.

Il fattore F7 non influisce sulla superficie utile, mentre F6 è direttamente legato alla classificazione di valore paesaggistico (art. 52 e art. 53 del L.R. n°8/2004 - PPR) degli edifici su cui si basano i PPCS, che, pur mostrando una certa varietà nei diversi piani, può essere sinteticamente riportata a due classi:

- edifici storici (edificati prima del 1950) più o meno conservati, per i quali è previsto un approccio conservativo.
- edifici moderni (dopo il 1950), più o meno compatibili con contesto storico, per i quali è previsto un approccio trasformativo.

Per la valutazione del potenziale sfruttabile le coperture degli edifici conservativi sono state eliminate dalla superficie utilizzabile.

2.4 Potenziale sfruttabile: limiti economici

I dati a disposizione permettono di calcolare l'investimento iniziale ed il tempo di ritorno di ogni impianto, tenendo in considerazione il regime di incentivazione attualmente in vigore. Il regime d'incentivazione in vigore per gli impianti domestici si basa su alcuni meccanismi (www.gse.it):

- a) autoconsumo (AC): l'energia che viene consumata durante la produzione è direttamente scontata dalla bolletta, generando un risparmio calcolabile in circa 0,22 euro al kWh, ossia il costo dell'energia pagato dall'utente;
- b) vendita energia messa in rete (IR): l'energia che viene messa in rete, in quanto non consumata al momento della produzione è pagata 0,10 euro al kWh;
- c) detrazione fiscale: il 50% del costo dell'impianto può essere detratto dall'IRPEF suddiviso in 10 anni fiscali.

I dati del gestore italiano del servizio elettrico mostrano che l'autoconsumo avviene in media per circa il 30% per l'energia prodotta, l'utilizzo delle batterie può incrementare tale quota a valori prudenziali di circa il 60%. In questa prima fase di sperimentazione si è ipotizzato un uso standard delle abitazioni con tre residenti ed un consumo di circa 3800 kWh annui¹.

I *fattori limitanti economici* puntano a contenere il tempo di ritorno e l'investimento iniziale ottimizzando l'estensione del campo fotovoltaico in funzione del fabbisogno, che nel nostro caso è definito sulla base del consumo standard pro capite:

- F8. *Dimensione minima dell'impianto*: l'unità immobiliare deve avere una superficie utile per almeno un campo fotovoltaico di 1,5 kWp.
- F9. *Dimensione massima dell'impianto*: con l'attuale regime di incentivazione è molto raro che si installino campi fotovoltaici domestici con più di 3kWp ad unità immobiliare, in base a ciò si è impostato un limite massimo di 3kWp installati.

Partendo dai quattro scenari individuati nel potenziale tecnico, si utilizzano i costi dell'energia elettrica e i costi di installazione delle diverse tecnologie per calcolare il PBT in assenza o in presenza di batteria di accumulo.

2.5 Impostazione delle strategie

Il potenziale sfruttabile simula la condizione che più probabilmente si può ottenere con lo stato attuale delle cose, ossia considerando: l'attuale patrimonio edificato del centro storico, le tecnologie e prassi di installazione più diffuse nel contesto, le normative ed in vincoli attualmente vigenti e gli attuali regimi di incentivazione. L'esplicitazione del peso di diversi fattori limitanti indirizza nello studio delle strategie per aumentare il potenziale. Nel nostro caso abbiamo individuato 9 fattori limitanti per i diversi potenziali, il cambiamento o la completa eliminazione di alcuni di questi fattori porta alla variazione del potenziale sfruttabile, lo studio dovrebbe partire dai fattori

¹ In Sardegna il consumo pro -capite annuo per il settore domestico è di 1296 kWh (TERNA 2015)

limitanti che hanno un maggiore impatto sul potenziale e proporre variazioni che possano essere verosimilmente attuate con limitato dispendio di risorse e senza stravolgere il sistema di regole vigenti.

Il potenziale teorico può essere variato solo con la modifica delle coperture esistenti o con la costruzione di nuove, mentre il potenziale tecnico è legato agli scenari tecnologici che sono stati impostati.

In questo studio si valuta l'effetto di alcune strategie per mitigare l'effetto dei fattori limitanti legati alla visibilità (F5) e al valore storico degli edifici (F6):

- S1. la gradazione del vincolo sui tetti storici;
- S2. la gradazione del vincolo di visibilità;
- S3. l'uso di tecnologie a basso impatto visivo.

Il fattore F5, prevede l'esclusione di tutte le coperture visibili dallo spazio pubblico, tuttavia gli indirizzi nazionali non vanno verso una così forte chiusura rimandando ad un'autorizzazione paesaggistica che ne valuti l'impatto caso per caso. Si è ipotizzato un diverso grado di tutela per le aree di relazione di beni architettonici o identitari (tutela forte) ed il resto del centro. La strategia S2 consiste nel ammettere le coperture non siano visibili dai punti di maggior pregio (piazze, beni architettonici,..), aumentando notevolmente la superficie disponibile. La Strategia S3 influisce sempre sul fattore limitate F5, e prevedendo l'uso, sulle coperture visibili dallo spazio pubblico, di moduli fotovoltaici a basso impatto quali tegole fotovoltaiche o amorfo colorato in maniera mimetica col contesto. Tale strategia porterebbe ad una completa esclusione del fattore limitate F5, ma il passaggio a tecnologie meno efficienti e più costose, farà variare anche il potenziale tecnologico. Il fattore F6 prevede l'eliminazione delle coperture degli edifici conservativi, tuttavia alcuni piani, (tra i quali anche quello utilizzato nel caso studio) definiscono diversi gradi di conservazione dell'edificio storico basati sul livello compromissione della struttura architettonica tradizionale. Perciò la strategia S1 propone di riammettere tra le superfici utilizzabili le coperture degli edifici conservativi che ormai risultano compromessi e/o che abbiano la copertura di tipo non tradizionale.

3 Risultati

Il potenziale teorico, che vale circa 33500 MWh/anno, è stato calcolato da un DSM con cella da 0,25m, i risultati sono poi stati aggregati per copertura, con un totale di 23672mq di superfici captanti (46% di classe 1, 45% di classe 2, 9% classe di 3). I potenziali tecnici ed i tempi di ritorno dei quattro scenari, individuano lo scenario 1 come il più economicamente efficiente (figura 2).

Il fattore F5 riduce del 60-70% il potenziale teorico, la S2 mitiga il suo effetto recuperando circa un 20% per ogni scenario, mentre applicando la S3 la visibilità non ha più influenza ma si avrà comunque un potenziale inferiore legato alla minore efficienza della tecnologia, che verrà analizzato in successive ricerche. Il solo fattore F6 legato alla caratteristica paesaggistica dell'edificio incide più del 60% sul potenziale teorico, e, combinato col fattore F5 della visibilità, porta il potenziale sfruttabile a valori tra il 12-16%. La S1, mitiga la sua influenza portandola a circa il 40%, che combinata con la visibilità garantisce valori di circa il 25%.

	TR - Scenario 1	TR - Scenario 2	TR - Scenario 3	TR - Scenario 4
Senza accumulo	6-8 anni	8-10 anni	7,5-9 anni	6,5-8,5 anni
Con accumulo	8,5-9,5 anni	9,5 -11,5 anni	9-10,5 anni	9 -10 anni

Figura 2 - range dei tempi di ritorno calcolati per gli scenari

4. Conclusione

La metodologia è sembrata adeguata ad esplicitare i diversi potenziali delle tecnologie fotovoltaiche utilizzando una combinazione di strumenti e dati di base facilmente reperibili nel contesto regionale. Si sono tenuti in considerazione limiti normativi locali e si sono ipotizzate alcune strategie per aumentare il potenziale. La modularità della metodologia e la versatilità dell'ambiente GIS hanno permesso di simulare con facilità gli effetti di cambiamenti normativi su potenziale sfruttabile. La procedura per il calcolo del potenziale teorico, segue indirizzi consolidati in letteratura ed è coerente col livello di dettaglio generalmente raggiunto per applicazioni di questo tipo. Rimangono tuttavia aperti alcuni punti, che aumenterebbero l'affidabilità della stima a scapito però di un aumento delle risorse necessarie per la preparazione dei dati di base: testare l'utilizzo di tool GIS capaci di stimare anche il valore della energia riflessa (r.sun - QGIS) e modellare l'influenza della vegetazione e dei comignoli. La procedura per la stima del potenziale tecnico deve necessariamente arricchirsi con la valutazione anche dei collettori termici in alternativa o in combinazione con quelli fotovoltaici. Così si potranno definire degli scenari progettuali più articolati e definire nuovi fattori limitanti specifici per la tecnologia a collettori termici. La procedura simula bene l'impatto dei limiti normativi sul potenziale, tuttavia le linee guida della RAS rilevano l'importanza di valutare anche l'impatto cumulativo che si avrebbe sul paesaggio se i pannelli fossero installati su tutte le coperture che ne possono avere diritto. Rimane, perciò, da valutare l'impatto sul paesaggio a scala territoriale, ossia da osservatori posti in luoghi di pregio paesaggistico (strade panoramiche, promontori, aree di pregio ambientale,...) e da modellarne l'effetto nella procedura. La stima dell'impatto dei limiti economici sul potenziale è stata adatta alla mancanza di dati circa i consumi reali e le soglie di accettabilità dei tempi di ritorno e dei costi iniziali percepiti dalla comunità. Le caratteristiche degli utilizzatori hanno, però un'importanza cruciale per la definizione di strategie di riuso e valorizzazione del patrimonio, esse saranno oggetto del prosieguo della ricerca.

Riferimenti bibliografici

Annie Chow A., Fung A.S., Songnian Li S. ((2014), "GIS Modeling of Solar Neighborhood Potential at a Fine Spatiotemporal Resolution", *Buildings* 4 195-206, ISSN 2075-5309, doi:10.3390/buildings4020195.

Caffarelli A., De Simone G., Stizza M., D'Amato A. (2013), *Sistemi solari fotovoltaici*, Maggioli Editore Milano, ISBN: 9788838781995.

Angelis-Dimakis A., Biberacher M., Javier Dominguez J., Fiorese G., Gadocha S., Edgard Gnansounou E., Guariso G., Kartalidis A., Panichelli L., Pinedo I., Michela Robba M. (2011), "Methods and tools to evaluate the availability of

renewable energy sources", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15
1182–1200, doi:10.1016/j.rser.2010.09.049.

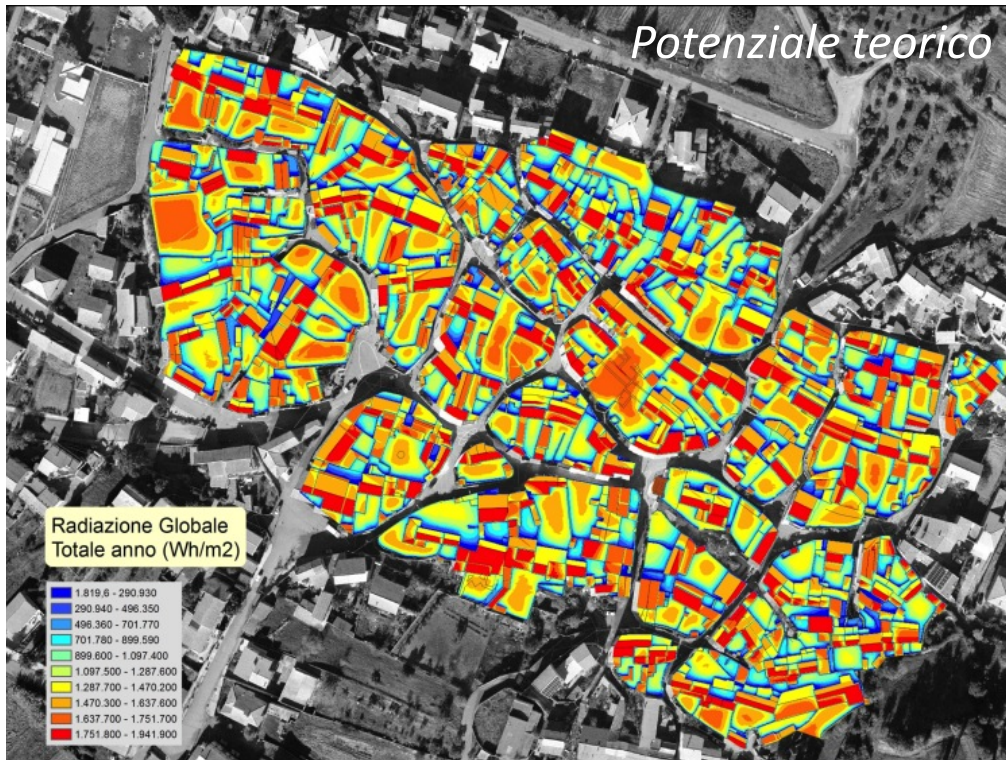


Figura 2 -mappa dell'irraggiamento globale annuo sulle coperture

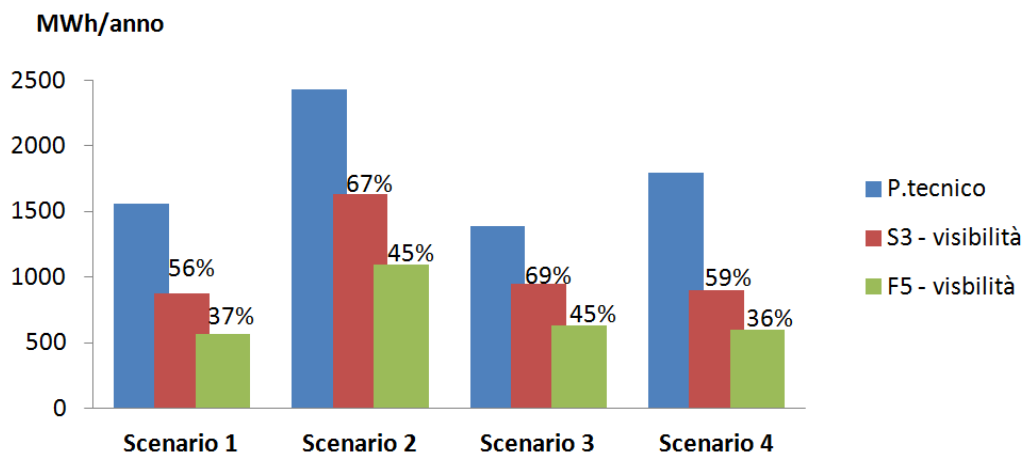


Figura 3 - Pot. tecnico, influenza del fattore F5 e applicazione della strategia S3

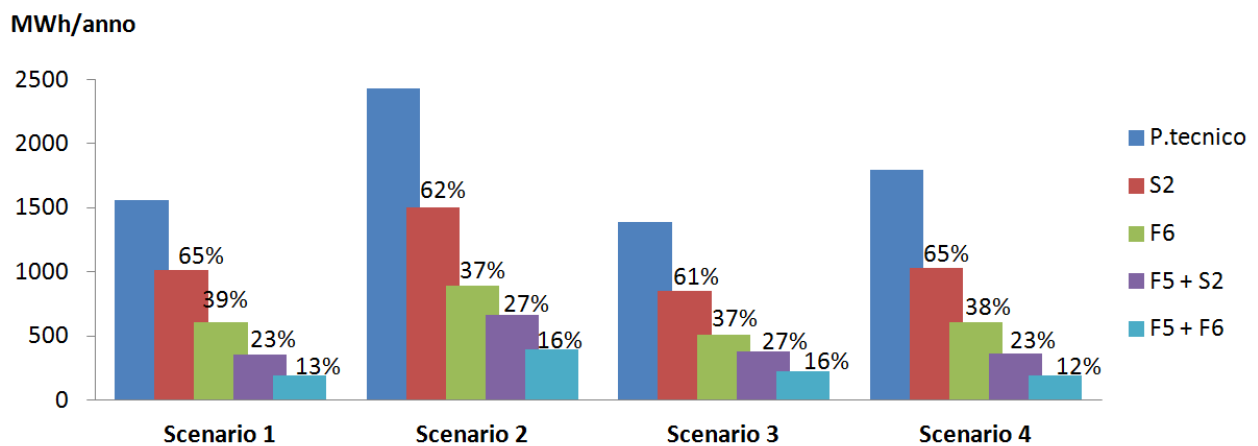


Figura 4 - Pot. tecnico, influenza dei fattori F5 ed F6 ed applicazione della strategia S2.

