

# MONITORAGGIO E RAPPRESENTAZIONE DELL’EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI EDIFICI IN AMBITO URBANO L’ESPERIENZA SIT SVILUPPATA NELL’AMBITO DEL CONTRATTO DI PROGRAMMA EOSS

Maria Rita Muolo\*, Giuseppe Starace\*\*

\* MERCMEC Engineering s.r.l. P.zza Papa G. Paolo II, 8/1, 70015 NOCI (BA) [mariorita.muolo@angelcompany.com](mailto:mariorita.muolo@angelcompany.com)

\*\* Professore ordinario di Fisica Tecnica @Università LUM, Casamassima (BA), [starace@lum.it](mailto:starace@lum.it)

## SOMMARIO

Il progetto “EOSS – Earth Observation Small Satellite” (un progetto di ricerca svolto da quattro imprese pugliesi tra Maggio 2016 e Aprile 2022 nell’ambito di un Contratto di Programma P.O. FESR 2014–2020 - Regione Puglia) ha rappresentato una vera sfida innovativa nel campo dell’osservazione della terra e dei fenomeni ambientali e ha previsto per uno dei suoi partner, la Servizi di Informazione Territoriale srl (SIT Srl), l’obiettivo di concepire, realizzare, testare e valutare un sistema prototipale di rilevazione, interpretazione, fruizione di dati territoriali di diversa natura finalizzato alla offerta di servizi innovativi di monitoraggio in molteplici domini applicativi: in ambito urbano, naturale, forestale e agricolo.

In ambito urbano, SIT Srl ha affrontato la tematica dell’efficienza energetica degli edifici, focalizzando i suoi approfondimenti sulla stima e rappresentazione del livello di efficienza mediante l’integrazione di dati multi-sorgente.

---

## II PROGETTO EOSS E LE SUE FINALITÀ

L’obiettivo del progetto EOSS per la SIT S.r.l. è stato analizzare, concepire, realizzare e valutare un sistema prototipale di rilevazione, interpretazione, fruizione di dati territoriali di diversa natura finalizzato alla offerta di servizi innovativi di monitoraggio in molteplici domini applicativi: in ambito urbano, naturale, forestale e agricolo. In ambito urbano si è ritenuto strategico focalizzare l’attenzione sul tema delle dispersioni termiche e dell’efficienza energetica degli edifici, sperimentando un metodo per la stima e la rappresentazione della loro condizione termica.

Il monitoraggio delle dispersioni termiche in ambito urbano è di fatto un argomento sul quale l’attenzione è molto elevata, perché esso è fondamentale per il computo preciso delle prestazioni di efficienza energetica del sistema edificio-impianto.

Mediante il progetto EOSS, quindi, si è avuta l’opportunità di studiare e realizzare una metodologia tanto efficace quanto ripetibile basata sull’acquisizione di dati, sull’analisi e la derivazione di informazioni utili per dedurre la condizione termica degli involucri edilizi mediante il calcolo dei parametri più rappresentativi, rappresentandoli poi su mappa nell’ambito di una piattaforma GIS-based.

L’idea alla base dell’attività sperimentale è stata quella di sfruttare strumentazione disponibile nel campo dell’indagine su dati strutturali a livello urbano, integrandola con sensoristica dedicata ai rilievi termici.

La finalità ultima è stata creare un servizio di alta specializzazione, erogabile in favore di Comuni e/o Enti territoriali.

L’utilizzo della piattaforma GIS sviluppata con EOSS

consente in sintesi di:

- poter fruire di informazioni su base urbana sul livello di efficienza energetica degli edifici;
- ricevere un supporto per la progettazione di incentivi mirati a sostenere interventi di risanamento e ristrutturazione energetica di edifici pubblici e privati;
- conoscere le modalità effettive di utilizzo dei sistemi di climatizzazione del patrimonio edilizio pubblico;
- verificare la corretta gestione dell’energia in ambito civile e del terziario ai fini della promozione delle corrette prassi di risparmio energetico definite con riferimento a dati rilevati;
- identificare condotte sanzionabili, mirando i controlli su situazioni effettivamente rilevate.

## IL SOGGETTO TARGET

SIT srl ha identificato nel gestore pubblico il principale soggetto potenzialmente interessato del servizio in ambito urbano che il progetto EOSS intende fornire. Fruire di una piattaforma GIS che permetta la visualizzazione di dati sulla condizione termica degli edifici su mappa nonché di analisi storiche e report, consentirebbe, infatti di disporre di una conoscenza referenziata sul proprio territorio del livello di efficienza energetica associato a ciascun edificio, con una conseguente capacità di promozione di attività con finalità di risparmio energetico basate su dati attendibili e uniformi.

L’ambito territoriale urbano individuato come target all’interno del progetto EOSS per la sperimentazione è stato il Comune di Bari, per la sua capacità di evidenziare una grande variabilità di casistiche possibili,



Figura 1. Edificio “Ripartizione Personale”

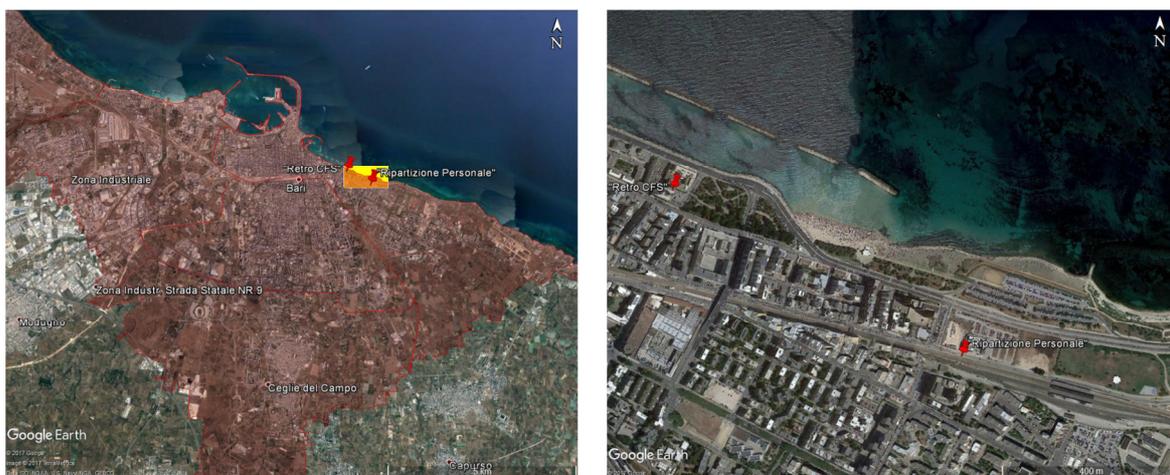


Figura 2. Ubicazione degli edifici nel territoriale comunale di Bari



Figura 3. Edificio “Retro CFS”

con evidente vantaggio rispetto all’obiettivo di testare la metodologia in situazioni diverse (ampio patrimonio immobiliare, tipologie edilizie varie e periodi di costruzione differenziati).

Il Comune di Bari dispone di un Regolamento Edilizio contenente prescrizioni relative all’efficienza energetica e alla dispersione termica degli edifici e aderisce al “Patto dei Sindaci per il clima e l’energia” (*Covenant of Mayors*). Lo stesso comune ha redatto un proprio PAES (Piano d’Azione per l’Energia Sostenibile), nel quale prevede, tra le altre cose:

- la mappatura delle prestazioni energetiche dei diversi edifici e l’integrazione di tale mappatura energetica su sistemi GIS (iniziativa n. 2 dell’ambito “Edilizia sostenibile”);
- una control room dei consumi cittadini (iniziativa n. 2 dell’ambito ICT/TLC);
- lo sviluppo del MEMS - Municipal Energy Management System per il monitoraggio dei consumi energetici della città (iniziativa n. 3 dell’ambito ICT/TLC).

Il Comune di Bari manifesta, inoltre

- la necessità di disporre di uno strumento economico e oggettivo per controllare la veridicità dei progetti edilizi in termini di contenimento delle dispersioni termiche,
- l’interesse ad adottare all’interno degli istituti scolastici di proprietà logiche efficienti per la gestione dell’energia
- l’interesse nell’accoppiare a interventi di riqualifi-

cazione energetica anche interventi di adeguamento antisismico, per accedere a fondi dedicati.

## LE AREE PILOTA

La scelta degli immobili pilota di proprietà del Comune di Bari o in uso ad esso ha tenuto in considerazione uffici o scuole, di diverse tipologie edilizie e, perciò, caratterizzate da particolari costruttivi di diverso tipo (riguardo a infissi, superfici opache, superfici trasparenti, ecc.).

Alle seguenti fonti informative e mediante l'utilizzo dei software ArcGIS e Google Earth Pro, si è attinto per la ricognizione sui dati di partenza:

- Open Data del Comune di Bari, contenente scuole, ospedali e edifici sensibili, in formato Shapefile;
  - Open Data del MIUR (anagrafe delle scuole italiane, in formato tabellare);
  - il database topografico della Regione Puglia, per le unità volumetriche e gli edifici, in formato *shapefile*;
  - gli Uffici del Comune di Bari in formato tabellare.
- Gli immobili scelti per l'analisi sono stati i seguenti:
- la palazzina Uffici della Ripartizione Personale del Comune di Bari, in Via Anastasio Ballestrero, 62 (d'ora in avanti "Ripartizione personale");
  - la palazzina Uffici dell'Assessorato all'Agricoltura della Regione Puglia, in Via Egnazia (d'ora in avanti "Retro CFS").

## STRUMENTAZIONE E DATI

La sperimentazione è consistita in rilievi termici aerei e in rilievi termografici sulle facciate degli edifici.

La strumentazione utilizzata per i rilievi aerei termici doveva essere in grado di produrre dati idonei a realizzare analisi delle temperature in corrispondenza dei tetti degli edifici. I requisiti imprescindibili erano allora:

- la presenza di almeno una banda nell'infrarosso termico;
- dimensione del pixel a terra inferiore alla dimensione minima degli edifici presenti nella scena osservata;
- un'adeguata accuratezza.

Gli strumenti sono riportati assieme alle loro caratteristiche in Tabella 1.

Per le analisi delle temperature medie a livello di quartiere o di municipio sono stati utilizzati dati termici acquisiti dai sensori OLI e TIRS del satellite Landsat 8, lanciato dalla NASA nel 2013. La banda 10, acquisita dallo strumento TIRS, è una banda termica (10,60 ÷ 11,19  $\mu\text{m}$ ), attraverso cui si può stimare la temperatura su una griglia regolare di 30 m.

I dati Landsat 8 sono distribuiti in tile (tessere) georiferite corrispondenti alle maglie di una griglia in cui è

suddivisa l'intera superficie terrestre, identificate da una coppia di numeri. La maglia che comprende il territorio del comune di Bari è la [188;031].

L'archivio Landsat rende disponibili 108 scene Landsat 8 per la tile [188;031] con periodicità pari a 16

Strumentazione	Marca	Modello
Termocamera	FLIR ThermoCAM	P25
		
<b>Caratteristiche tecniche</b> banda: 7,5-13 $\mu\text{m}$ array: 320x240; accuratezza: $\pm 2$ °C; FOV: 24°x18°; intervalli di misura: a -40 e 120 °C; a 0 e 500 °C; correzione per la trasmissione atmosferica, per l'emissività e per la temperatura apparente riflessa;		
Termocamera	FLIR	A655
		
<b>Caratteristiche tecniche</b> banda: (7,5; 14) $\mu\text{m}$ ; Array: 640x480 [pixel x pixel]; Accuratezza: $\pm 2$ °C; FOV: 80°x64,4°; intervalli di misura: (-40; 150) °C; (100; 560) °C; correzione per la trasmissione atmosferica, per l'emissività e per la temperatura apparente riflessa		
Sensore aereo termico	Iltres	TABI-320
		
<b>Caratteristiche Tecniche</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• banda spettrale (8;12) <math>\mu\text{m}</math>;</li> <li>• array lineare 320 pixel;</li> <li>• risoluzione di 1 m alla quota di 824 m AGL;</li> <li>• 3 modalità (modes) di misura:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sensitive (0; 60) °C;</li> <li>○ Fire mapping (0; 1000) °C;</li> <li>○ Urban (-10; 110) °C;</li> </ul> </li> <li>• software di pre-processing Iltres.</li> </ul>		

Tabella 1. Caratteristiche degli strumenti utilizzati.

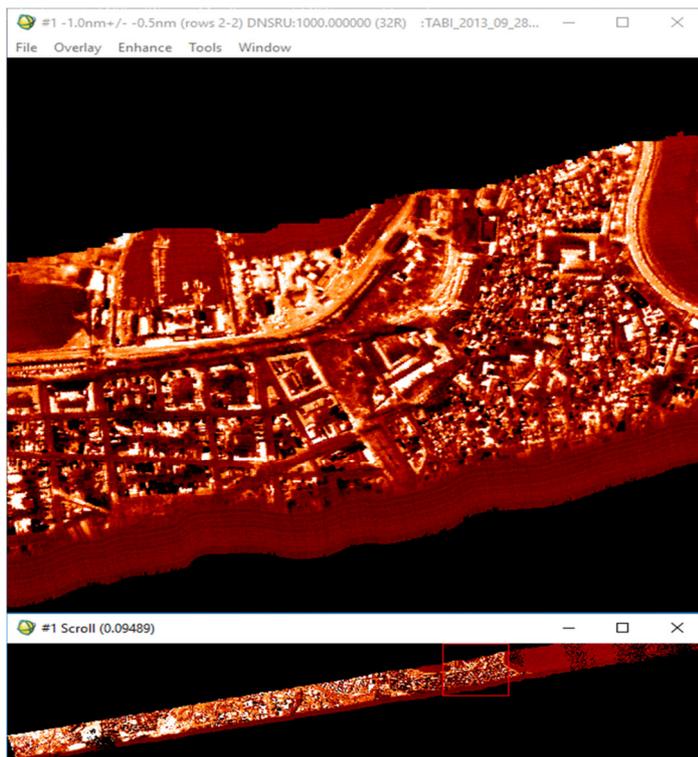
giorni circa, dal 23/08/2013 al 09/01/2018. L'uso delle immagini è subordinato all'assenza di copertura nuvolosa o nevosca al momento dell'acquisizione.

Le immagini acquisite da satellite sono state utili a creare medie stagionali di temperatura di porzioni del territorio comunale, in modo da segnalare quali aree della città siano tendenzialmente a temperatura maggiore o minore rispetto ad altre.

## IL RILIEVO AEREO

Per minimizzare l'influenza dell'irraggiamento solare e dell'inerzia termica delle superfici sulla stima delle temperature, sono stati eseguiti voli notturni appena prima o appena dopo l'alba.

Affinché le temperature stimate fossero rappresentative delle eventuali dispersioni termiche degli edifici, i voli sono stati eseguiti in una data ricadente nel periodo dell'anno nel quale è consentita l'accensione degli impianti di riscaldamento (tra il 15 novembre e



**Figura 4.** Particolare di una strisciata aerea termica su Bari.

il 31 marzo).

Per il rilievo è stato utilizzato il sensore termico TABI 320 della iTRES Research Ltd, le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 1. La risoluzione geometrica utilizzata, compatibile con le condizioni di sicurezza in volo è pari a 2 m/pixel, producendo un abbracciamento al suolo complessivo (swath) della strisciata pari a 600 m.

Il processing eseguito sui dati termici acquisiti da aereo prevede i seguenti passaggi:

- Dato grezzo
  - Correzione radiometrica
- Immagini di Temperatura
  - Correzione geometrica
- Immagini di Temperatura rettificate e georiferite.

al termine dei quali si è ottenuta l’immagine (dato raster) in cui ciascun pixel contiene il valore di temperatura al suolo.

### IL RILIEVO A TERRA

In concomitanza con il rilievo termico da aereo sono stati effettuati i rilievi delle temperature di controllo a terra, mediante l’utilizzo di:

- termometro digitale a puntale
- termoigrometro
- ricevitore GNSS
- termometro a infrarossi
- termocamera FLIR ThermaCAM P25
- metro a nastro da 10 m
- schede di rilievo
- batterie di ricambio

- gessetto
- supporto per termocamera

### IL RILIEVO TERMOGRAFICO DELLE FACCIATE

I rilievi termografici delle facciate degli edifici sono stati eseguiti nella fascia oraria in cui sono accesi i dispositivi di riscaldamento/raffrescamento interno.

Gli edifici, selezionati in base a opportune caratteristiche per l’esecuzione di rilievi termografici, hanno anche i seguenti vantaggi:

- sono situati in adiacenza a strade centrali e ampie a scorrimento veloce;
- guardano a edifici adiacenti riconducibili a una singola tipologia costruttiva;
- sono situati in zone pressoché periferiche composte da palazzine multipiano isolate, costruite nello stesso periodo, esposte a venti prevalenti noti.

Tutto ciò premesso, i rilievi termografici sono stati eseguiti sulle facciate sud e ovest dei due edifici.

Posizionandosi sul marciapiede opposto, l’operatore ha inquadrato la facciata, acquisendo una serie di termografie con l’obiettivo di coprire l’intera superficie senza soluzione di continuità.

Successivamente sono state eseguite le seguenti operazioni:

- individuazione di porzioni omogenee dell’involucro edilizio opaco;
- scelta dei termogrammi maggiormente rappresentativi;
- scelta delle Region Of Interest (ROI) sui termogrammi;

- annotazione delle temperature rilevate nelle ROI;
- scelta dei parametri per il post-processing dei termogrammi.

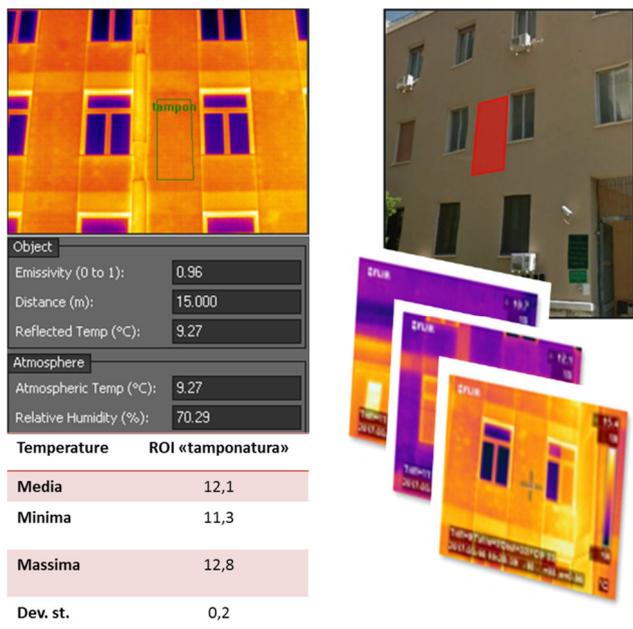


Figura 5. Rilievi termografici delle facciate.

### IL RILIEVO SATELLITARE

Sono stati ricercati i dati Landsat8 sulla relativa piattaforma di condivisione, secondo i seguenti criteri:

- data di acquisizione compresa nei mesi novembre, dicembre, gennaio, febbraio e marzo;
- area di acquisizione comprendente il territorio comunale.

Sono quindi state esaminate le anteprime per verificare sommariamente l’assenza di copertura nuvolosa. I dati risultanti da questa prima analisi sono stati

scaricati dalla piattaforma ed è stata stabilita la loro effettiva utilizzabilità per mezzo della visualizzazione in veri colori (RGB), e del controllo della Quality Band Assessment (BQA). In seguito a questa seconda valutazione sono state identificate 34 immagini Landsat dal 1984 al 2017.

Si è passati, pertanto, al processing dei dati effettivamente utilizzabili per il calcolo delle temperature secondo i seguenti passaggi:

- trasformazione da *Digital Number* a temperatura di brillantezza TOA, che non corrisponde alla temperatura alla superficie (LST, Land Surface Temperature), ma è ad essa correlata. L’approssimazione è ammissibile perché lo scopo dell’analisi è quello del rilievo delle differenze tra le temperature delle zone oggetto di studio e non della determinazione della loro temperatura;
- ritaglio delle immagini sull’area del Comune di Bari.

Sono state, quindi, calcolate le temperature medie stagionali per ogni zona, sulla base delle seguenti ipotesi:

- in un determinato intervallo di tempo, le temperature medie di una zona sono approssimabili a quelle dei suoi punti di calcolo;
- il “comportamento termico” di un punto è lo stesso in mesi analoghi di anni diversi (es.: il comportamento termico a dicembre 2000 è lo stesso che a dicembre 2017);
- la temperatura media stagionale è data dalla media ponderata delle temperature afferenti ai mesi invernali;

Successivamente si sono identificate le zone omogenee per mezzo della tavola “QI.TC.3.1 - Carta dei paesaggi e dei contesti territoriali” del Documento Programmatico Preliminare del Piano Urbanistico

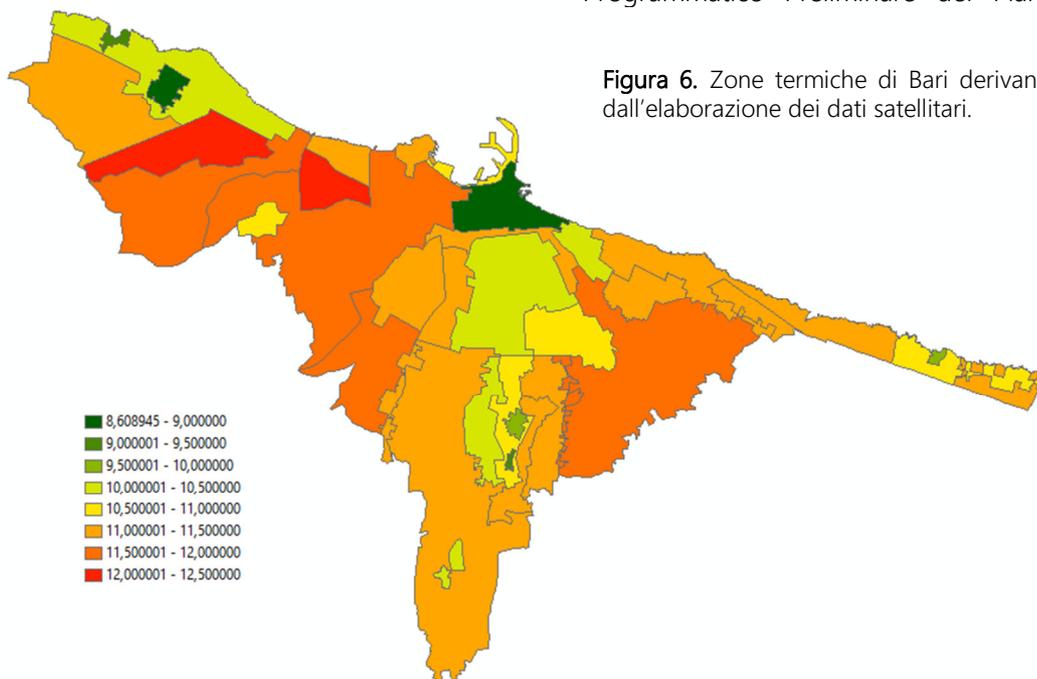


Figura 6. Zone termiche di Bari derivanti dall’elaborazione dei dati satellitari.

Generale del Comune di Bari (aggiornata a dicembre 2010) nella quale il territorio comunale è suddiviso in contesti urbani di diverso tipo:

- urbani Storici;
- urbani Consolidati;
- urbani in via di consolidamento;
- urbani Marginali;
- periurbani;
- rurali;
- infrastrutturali.

La scelta del numero di punti di calcolo è stata fatta rispettando i seguenti vincoli:

- garantire almeno un punto in ogni zona;
- avere una densità di punti per unità di superficie commisurata alla superficie della zona.

La posizione dei punti in ciascuna zona è stata scelta con l’intenzione di minimizzare sia il contributo degli edifici, sia quello della vegetazione nel calcolo della temperatura del singolo punto. In generale, perciò, i punti sono stati scelti in corrispondenza di ampi incroci stradali.

### L’INDICE DI EFFICIENZA ENERGETICA

Sulla base dei dati acquisiti, è stato elaborato un indice di efficienza energetica (IEF) che fornisce una stima dell’efficienza energetica delle unità volumetriche, utile ad analisi territoriali multiscala a livello comunale e sub-comunale. L’indice è:

- multi-parametrico, perché considera 16 parametri per il calcolo;
- personalizzabile da parte dell’utente, il quale può far variare i pesi di ciascun parametro.

In una scala da 0 a 100, maggiore è IEF, maggiore è l’efficienza energetica dell’unità volumetrica.

La formula generale che definisce IEF è la seguente:

$$IEF = \sum_{k=1}^n p_k C_k, \quad IEF \in [0,100]$$

dove:

$n$  è il numero di parametri presi in considerazione

$p_k$  è il  $k$ -esimo parametro con  $k \in [1, n]$

$C_1, C_2, \dots, C_k, \dots, C_n$  sono gli  $n$  coefficienti di pesatura relativa del parametro  $p_k$  per il calcolo di IEF.

È sempre:

$$\sum_{k=1}^n C_k = 1$$

Ciò, ogni parametro viene moltiplicato per un peso (determinato con le regole che si descrivono di seguito) in maniera che esso rappresenti una quota percentuale nell’indice complessivo.

Al calcolo del peso  $C_k$  contribuiscono più aspetti. Il numero di aspetti è  $a$ .

Di questi si tiene conto in termini di “valutazione” (nel range [1,100]) nella maniera seguente:

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^a j_{i,k} z_i}{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^a j_{i,k} z_i}, \quad i \in [1, a], \quad \forall k \in [1, n]$$

dove:

$j_{i,k}$  è il valore della “valutazione” dell’aspetto  $i$ -esimo del  $k$ -esimo parametro  $i \in [1, a], k \in [1, n]$ ;

$z_i$  è il coefficiente di importanza del singolo aspetto rispetto a quello più importante ( $z_i \in [0,1], i \in [1, a]$ );

I parametri ( $p_k, k \in [1, n]$ ) presi in considerazione sono i seguenti:

$p_1$	Rapporto S/V (superficie/volume)	$p_9$	Distribuzione della superficie esposta (orientamento)
$p_2$	Superficie disperdente	$p_{10}$	Centralizzazione impianto
$p_3$	Volume	$p_{11}$	Consumi energetici invernali
$p_4$	Superficie di base	$p_{12}$	Classe energetica
$p_5$	Numero di piani	$p_{13}$	Differenza tra consumi effettivi e consumi attesi
$p_6$	Altezza	$p_{14}$	Colore del tetto
$p_7$	Numero di unità immobiliari	$p_{15}$	Temperatura media del tetto
$p_8$	Anno di costruzione		

Gli aspetti  $i$ , valutati con il valore  $j_i \in [1,100]$  contribuiscono in maniera diversa, in base alla loro importanza relativa, al coefficiente di peso  $C_k$  del parametro. Ciò avviene per il tramite del coefficiente  $v$ . Gli aspetti che qui si intende prendere in considerazione sono i seguenti:

$i = 1$ : Importanza qualitativa del parametro fisico	$i = 3$ : Coerenza/confrontabilità del dato tra edifici diversi
$i = 2$ : Importanza quantitativa	$i = 4$ : Attendibilità/disponibilità del dato

In una formula unica:

$$IEF = \sum_{k=1}^n p_k \frac{\sum_{i=1}^a j_{i,k} z_i}{\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^a j_{i,k} z_i}, \quad i \in [1, a], \quad \forall k \in [1, n]$$

Owero se:

$$C_{TOT} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^a j_{i,k} z_i$$

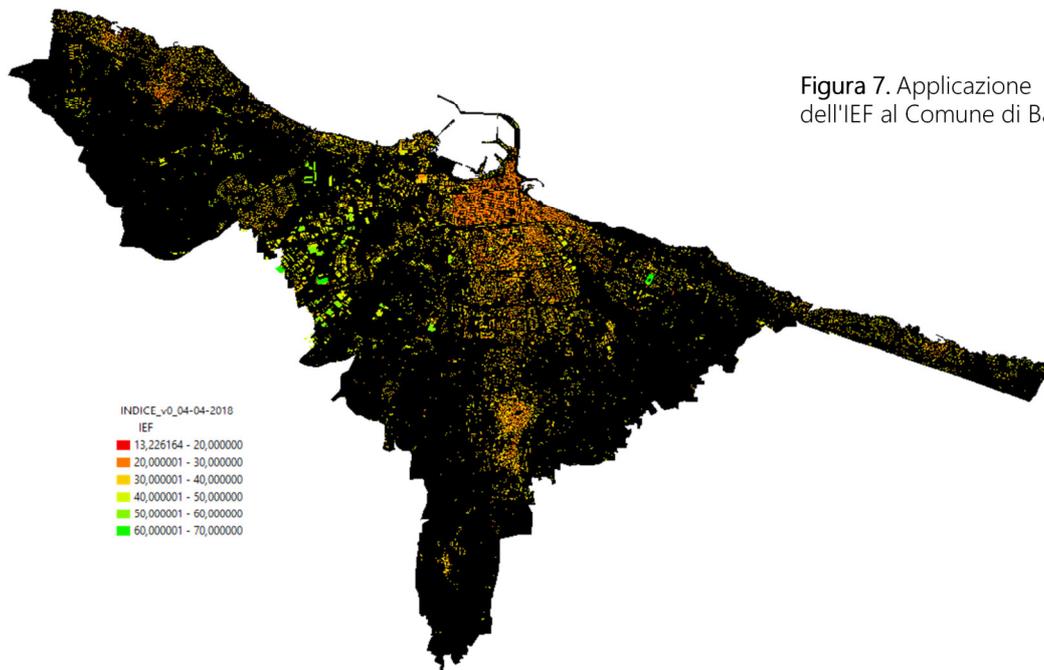


Figura 7. Applicazione dell’IEF al Comune di Bari

$$IEF = \frac{1}{c_{TOT}} \sum_{k=1}^n p_k \sum_{i=1}^a j_{i,k} z_i, \quad i \in [1, a], \forall k \in [1, n]$$

Il metodo consente successivi incrementi o eliminazioni dei parametri (numero degli aspetti) con un facile ricalcolo dei pesi.

Il parametro  $p_{11}$ , ad esempio, relativo a «Consumi energetici invernali», può essere popolato dai dati acquisiti dallo stesso Comune dal portale SIATEL - Sistema Interscambio Anagrafe Tributaria Enti Locali, messo a disposizione dall’Agenzia delle Entrate (<https://puntofisco.entiaagenziaentrate.it>) che consente il download delle forniture di gas e di energia elettrica.

Se uno dei parametri non è disponibile per un edificio, si riaggiorna l’IEF con un “elemento sostitutivo o di segnalazione” che evidenzia dell’assenza di quel parametro, ovvero che ne minimizza l’effetto, ma che rende confrontabili sulla base di argomenti non perfettamente omogenei gli esiti del raffronto (i valori dell’indice). Una possibile soluzione è quella di attestarsi sul minimo, sulla media o sul massimo del parametro degli altri edifici a seconda del parametro, per ovviare con un giudizio di volta in volta “conservativo” all’assenza del parametro.

La potenza di questo metodo di classificazione degli edifici, sulla base del calcolo del IEF, sta dunque nella modularità e «componibilità» del calcolo.

### APPLICAZIONE DELL’IEF AL COMUNE DI BARI

L’Indice di Efficienza Energetica (IEF), così come defi-

nito in precedenza, è stato calcolato per tutte le UV del territorio comunale della città di Bari ed è stato rappresentato con una scala di colori che va dal rosso, associato a bassi valori dell’indice, al verde, associato a valori più alti.

Il layer informativo associato a tale rappresentazione, sintetizzato nelle Figure 7 e 8, è stato caricato all’interno della piattaforma WebGIS di supporto alle decisioni ed è consultabile.

Si riportano di seguito gli istogrammi risultanti dall’analisi statistica dei diversi parametri dell’IEF calcolati sul territorio del Comune di Bari.

L’istogramma dell’IEF calcolato sulle UV di Bari ha riportato l’andamento rappresentato in Figura 17 con un IEF minimo di 13,23; un IEF massimo di 68,70; un IEF medio di 34,28; e una deviazione standard di IEF pari a 5,11.

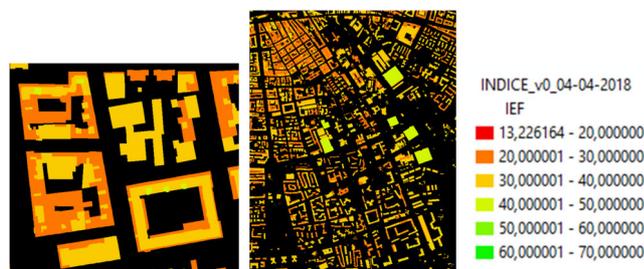


Figura 8. Dettaglio dell’applicazione dell’IEF al quartiere di Bari San Pasquale.

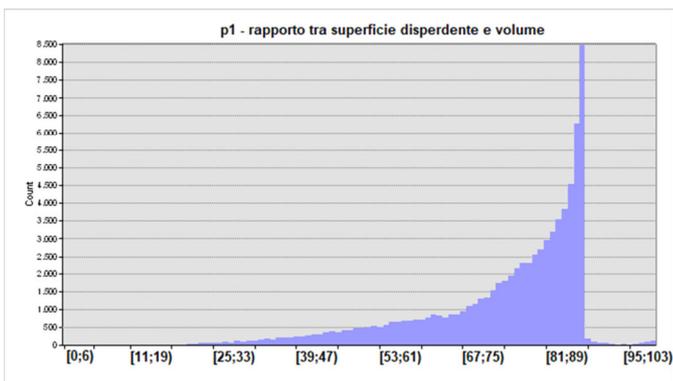


Figura 9. Istogramma dei valori del parametro  $p_1$

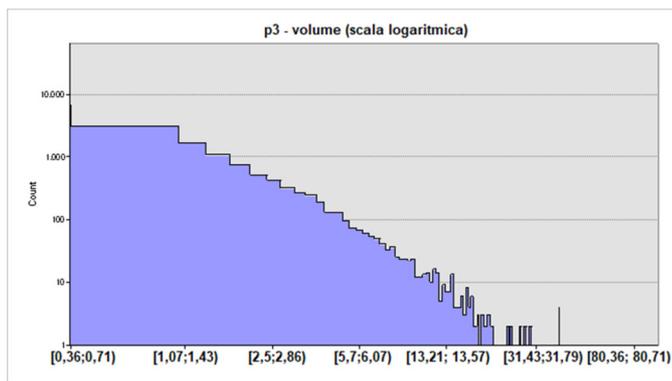


Figura 10. Istogramma dei valori del parametro  $p_3$

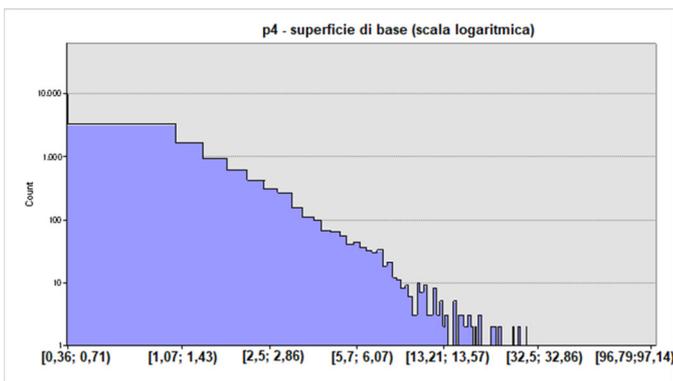


Figura 11. Istogramma dei valori del parametro  $p_4$

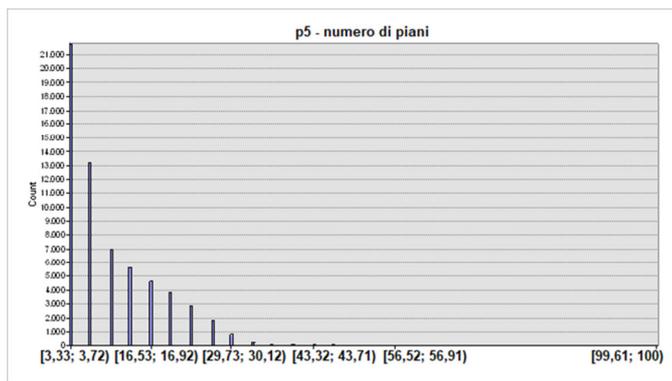


Figura 12. Istogramma dei valori del parametro  $p_5$

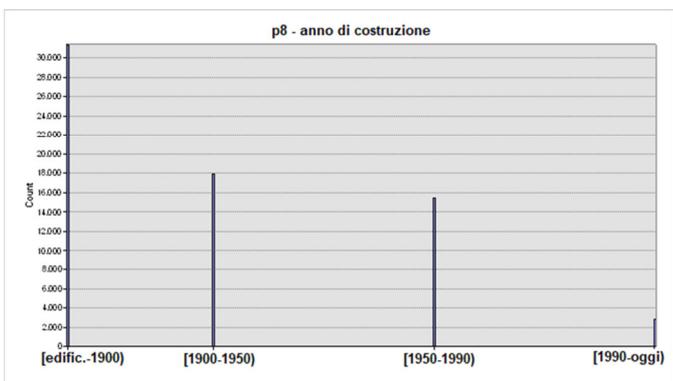


Figura 13. Istogramma dei valori del parametro  $p_8$

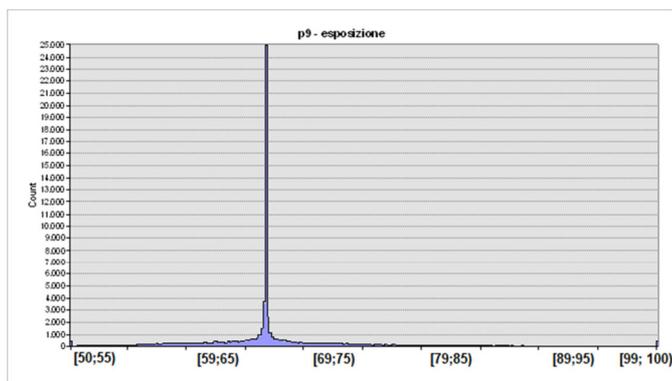


Figura 14. Istogramma dei valori del parametro  $p_9$

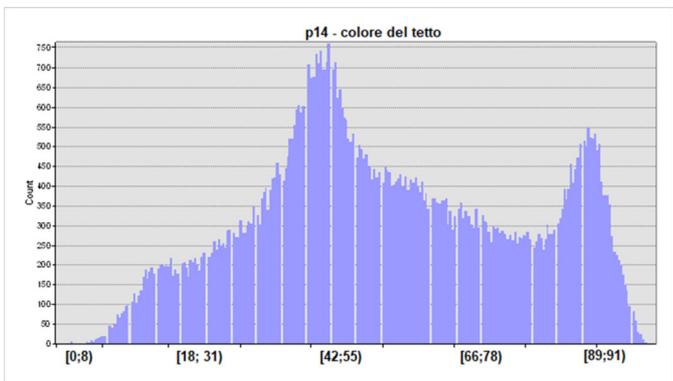


Figura 15. Istogramma dei valori del parametro  $p_{14}$

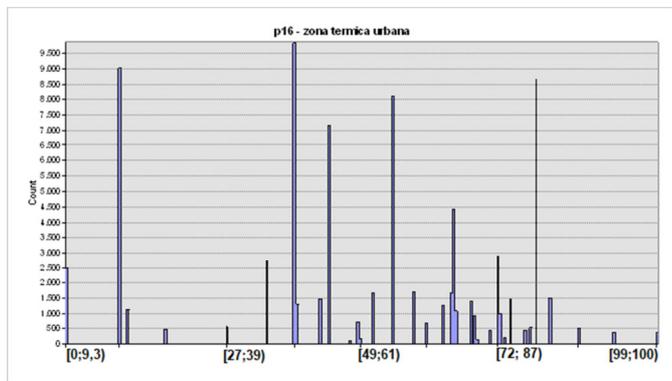


Figura 16. Istogramma dei valori del parametro  $p_{16}$

### Pesi dei parametri nell'indice

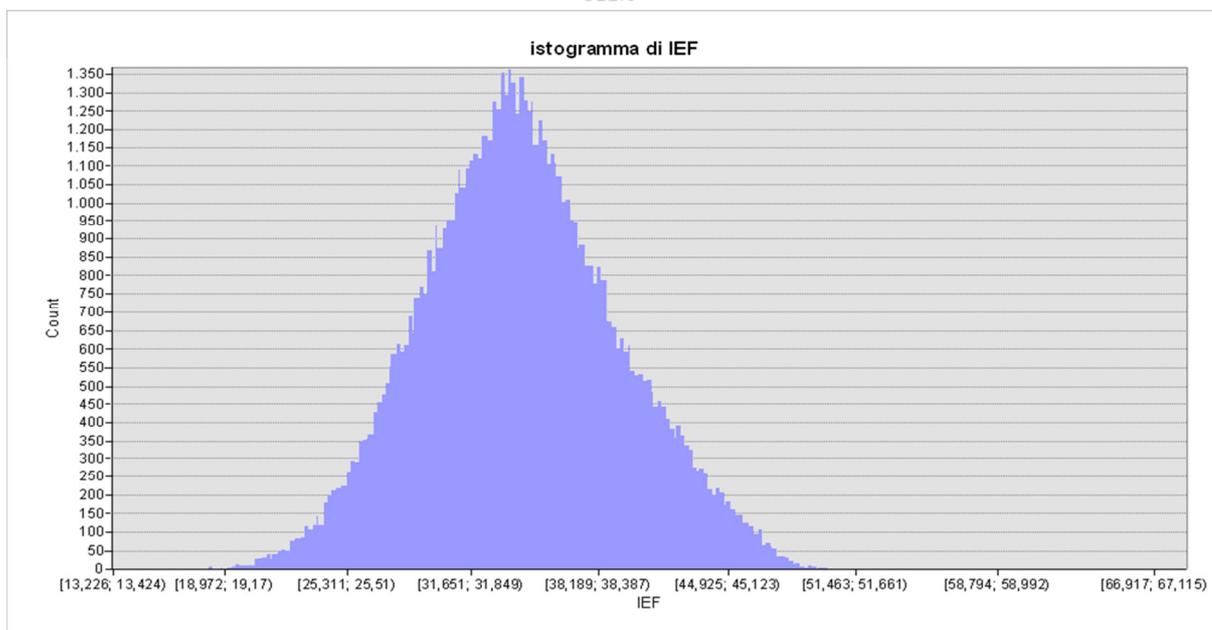
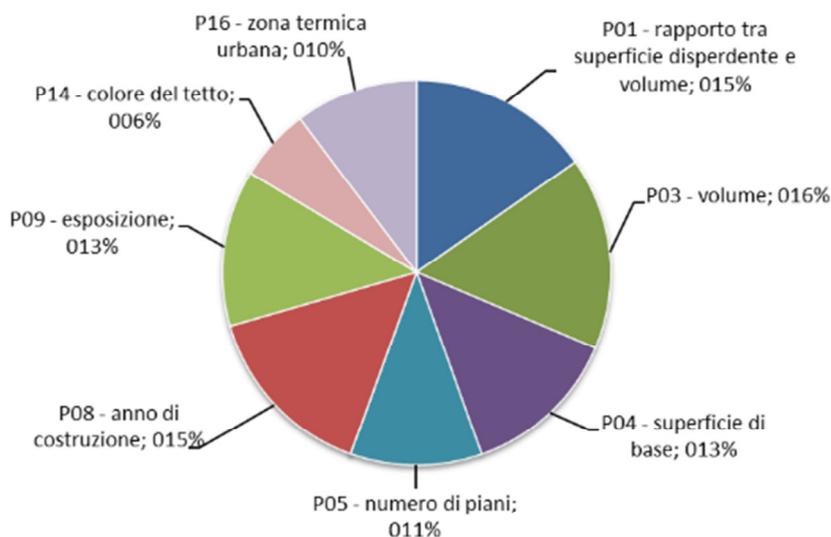
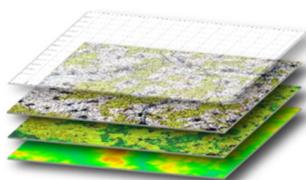


Figura 17. I risultati del calcolo dell'indice IEF

### WEBGIS DSS PER LE PRESTAZIONI ENERGETICHE

La piattaforma WebGIS di supporto alle decisioni consente la visualizzazione dei seguenti layer informativi (Ras = raster; Vec = vettoriale):

- 1) Layer di base:
  - a) Ortofoto (Ras);
  - b) Mappe stradali (Ras);
- 2) Layer tematici:
  - a) Immagini termiche aeree (Ras);
  - b) Punteggio a scala di edificio (Indice di dispersione del calore);
  - c) Poligoni degli edifici (DBT/CTR), tematizzati (Vec).



Altri dati implementati e visualizzabili comprendono la toponomastica e i numeri civici, i certificati energe-

tici (\*.pdf) e le termografie acquisite sulle facciate (jpg). L'aspetto generale (layout grafico) della piattaforma WebGIS è osservabile in Figura 18.

A destra della schermata vi è il menu dal quale selezionare lo strumento GIS più utile, quali la consultazione dei layer informativi, la legenda, le misurazioni su mappa, la stampa, lo zoom, la selezione e l'interrogazione degli elementi. Nell'immagine di Figura 14 è stato reso visibile il layer relativo alle termografie aeree effettuate sul territorio di Bari.

Aumentando l'ingrandimento della mappa fino a visualizzare una Unità Volumetrica (UV) è possibile aprire la scheda relativa cliccando su di essa (es. di Figura 19). Nella scheda è possibile anche variare manualmente ciascun parametro relativo all'IEF associato alla singola UV. Nella scheda sono visualizzabili anche le termografie delle facciate di quella spe-

cifica UV, nonché il documento ACE, laddove disponibile (Figure 20 e 21)

Se loggati, cliccando su Analisi è anche possibile selezionare e ottenere statistiche sugli IEF delle UV nelle seguenti tre modalità:

- tutte le UV appartenenti a un municipio;
- tutte le UV selezionate in mappa (singolarmente o con selezione aerea);
- tutte le UV del Comune.

Cliccando su pesi dei parametri è possibile introdurre un nuovo set di pesi dei parametri con il quale effettuare il calcolo. Variando uno dei pesi, gli altri variano automaticamente in proporzione affinché la somma sia pari a 1. Cliccando sul set di parametri viene visualizzata la distribuzione dei pesi.

## CONCLUSIONI

La vasta sperimentazione condotta nell'ambito del progetto EOSS ha portato alla realizzazione di una piattaforma *webgis based* efficace nella determinazione e rappresentazione della condizione termica degli edifici in ambito urbano. Ad essa si è accompagnata la definizione di una metodologia di stima dell'efficienza energetica degli immobili, basata su di un Indice di Efficienza Energetica (IEF) che consente la visualizzazione sinottica di dati in una *dashboard* e di elaborare analisi storiche e report.

Il cruscotto ha la funzione di aggregare e rendere possibile la fruizione intelligente dei dati disponibili ed è in grado di:

- raccogliere, elaborare, integrare, sintetizzare e rappresentare, anche su base geografica, dati provenienti da sensoristica diffusa all'interno di edifici favorendone la consultazione in un quadro completo ed esaustivo, in logica IoT;
- mettere a disposizione strumenti di estrazione e analisi dei dati e delle informazioni afferenti al comportamento termico degli edifici sia ai fini del monitoraggio della loro efficienza energetica, sia della valutazione di eventuali criticità e/o potenzialità.

I dati osservabili sono quelli termografici acquisiti dal campo sulle facciate, quelli termici acquisiti da aereo sui tetti e quelli satellitari per osservare le temperature medie nel particolare periodo dell'anno e classificare conseguentemente il territorio urbano in zone omogenee. Ulteriori dati fondamentali per il calcolo dell'IEF sono i dati tecnici desumibili dal Database Topocartografico (DBT) regionale e gli Attestati di Prestazione Energetica (APE) e/o Attestati di Certificazione Energetica (ACE), laddove disponibili.

La piattaforma *webgis based* è dunque in grado di integrare dati provenienti da fonti diverse ed eterogenee (modelli digitali dell'edificato, indagini termografiche, prodotti del telerilevamento aereo o satelliti-

tare, certificazioni energetiche, consumi energetici reali, elaborati cartografici, ecc.) per la determinazione e la rappresentazione geografica di indicatori spaziali di efficienza energetica, consumi energetici o dispersioni termiche che siano multi-parametrici, multi-fonte e personalizzabili dall'utilizzatore in base alle caratteristiche specifiche del territorio comunale e dei dati a disposizione per il calcolo.

La piattaforma è consultabile da dispositivi diversi, si può integrare con altri servizi e risulta scalabile e personalizzabile anche per altri contesti territoriali (es.: Città Metropolitane).

La piattaforma può costituire un sistema di supporto alle decisioni in ambito energetico, finalizzato a stimare i consumi energetici cittadini (in particolare nell'ambito del patrimonio immobiliare pubblico), guidare la progettazione di incentivi mirati all'efficientamento energetico, sostenere e verificare la corretta gestione dell'energia in ambito civile e del terziario, identificare eventuali condotte sanzionabili da parte dei cittadini, promuovere percorsi virtuosi di risparmio energetico.

Il suddetto sistema di supporto alle decisioni è incentrato sul concetto di multiscalarità consentendo la visualizzazione di:

- prestazioni energetiche, stima di emissioni di CO<sub>2</sub>, attestato di prestazione energetica (APE) a scala di edificio;
- indici spaziali di efficienza energetica a scala di quartiere e di città.

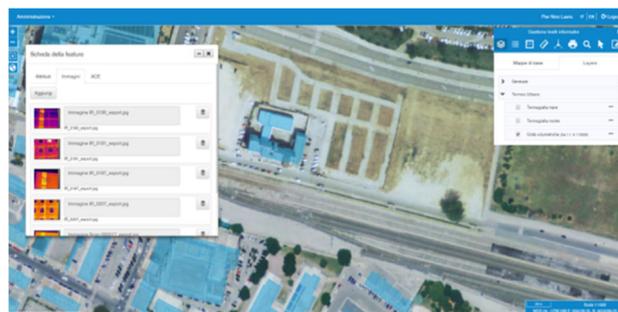


Figura 18. Visualizzazione delle termografie delle facciate

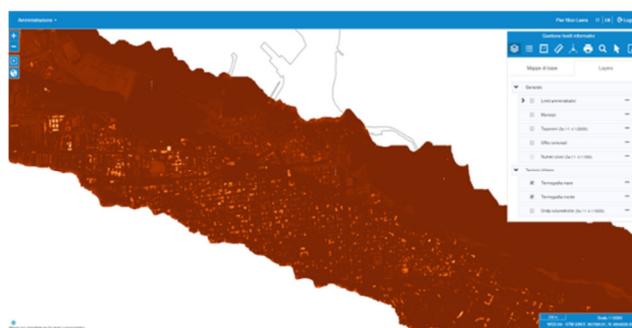


Figura 19. Termografia aerea su WebGIS DSS

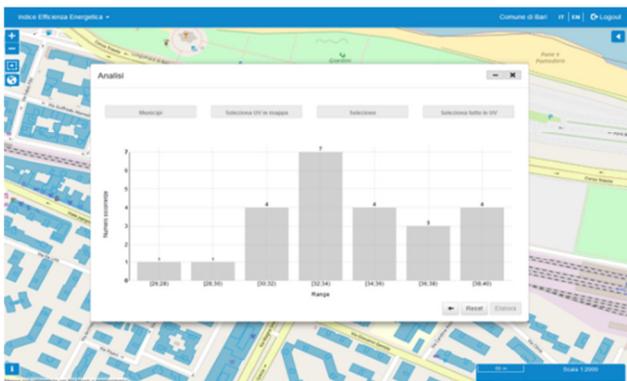


Figura 20. Visualizzazione dei parametri e dell'IEF di UV

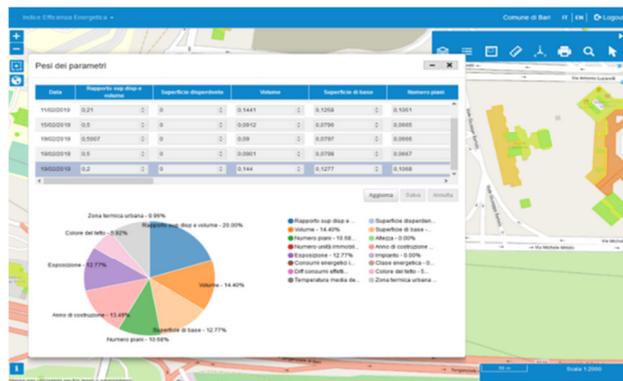


Figura 23. Visualizzazione dei pesi dei parametri dell'IEF.

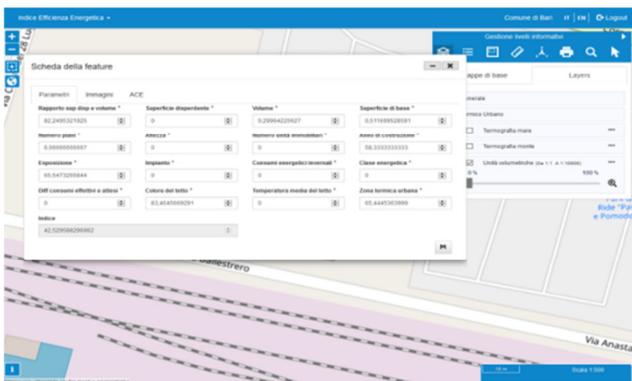


Figura 21. Consultazione dell'Attestazione ACE.

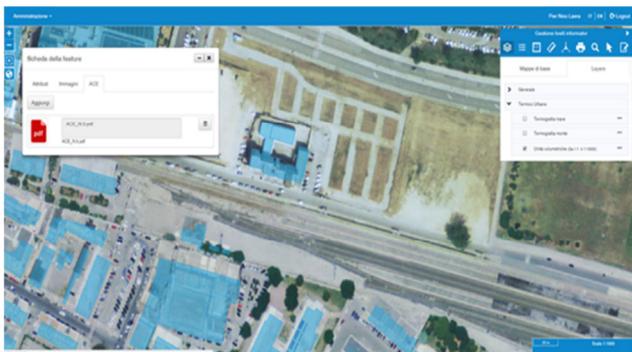


Figura 22. Analisi spaziale degli IEF.

## BIBLIOGRAFIA

- 1993 *Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers*. COPYRIGHT American Society for Testing and Materials.
- 2012 *Aspetti applicativi nell'uso della termografia aerea per la mappatura delle dispersioni termiche in ambito urbano*. Atti 16ª Conferenza Nazionale ASITA - Fiera di Vicenza 6-9 novembre. G. Bitelli, R. Blanos, P. Conte, F. Coren, E. Mandanici
- 2012 *Utilizzo delle bande dell'Infrarosso Termico in tecniche di remote sensing per applicazioni in ambito urbano*. Tesi di Dottorato in Ingegneria Geomatica e dei Trasporti, P. Conte.
- 2011 *Geospatial Technologies to Improve Urban Energy Efficiency*. Remote Sens. 2011, 3, 1380-1405; doi:10.3390/rs3071380, G. J. Hay, C. Kyle, B. Hemachandran, G. Chen, M. M. Rahman, T. S. Fung, J. L. Arvai.
- 2017 *Comparison of building modelling assumptions and methods for urban scale heat demand forecasting*. Future Cities and Environment (2017) 3:2. DOI 10.1186/s40984-017-0025-7, D. Monien, A. Strzalka, A. Koukofikis, V. Coors, U. Eicker.

## La SIT srl, (ora MERMEC Engineering srl)

La Servizi di Informazione Territoriale Srl (SIT Srl), con sede a Noci (BA), si occupa da anni di tutte le attività inerenti l'acquisizione, l'elaborazione, la gestione e la distribuzione di Dati Territoriali e ambientali derivati da rilievi aerei e/o terrestri, producendo banche dati integrate in Sistemi Informativi Territoriali e ambienti WebGIS. La mission aziendale è attuata perseguendo la qualità e la competitività attraverso la ricerca e la pionieristica adozione delle tecnologie più innovative, l'ottimizzazione dei processi produttivi, l'agile ed efficiente organizzazione aziendale.

## Il progetto EOSS

"EOSS – Earth Observation Small Satellite" è un progetto (Contratto di Programma P.O. FESR 2014-2020 – Regione Puglia) durante il quale si sono svolte attività di analisi, approfondimento, prototipazione e sperimentazione di tecnologie e metodologie integrate e innovative di monitoraggio e rappresentazione dell'efficienza energetica degli edifici in ambito urbano. EOSS ha visto come attori quattro realtà imprenditoriali pugliesi guidate dal capofila SITAEL S.p.A. che opera a Mola di Bari (BA) nel campo dell'elettronica, della microelettronica e della robotica applicate all'Aerospazio. Il raggruppamento si completa con la IMT S.r.l. di Valenzano (BA), la Parsec 3.26 S.r.l. di Cavallino (LE) e la Servizi di Informazione Territoriale S.r.l. (SIT S.r.l.) che opera a Noci (BA) nel campo del telerilevamento da aereo e drone per il monitoraggio del territorio e delle infrastrutture.