

IL FOTOVOLTAICO DI OGGI È TUTTA UN'ALTRA STORIA



BIPV meets history

WP3.2 - MAPPATURA SOLARE E POTENZIALE
TERRITORIALE

A cura di:

Isabella Dall’Orto (Regione Lombardia) – Elena Lucchi (Eurac Research)

Contributi di:

Giulia Guazzi, Alessia Peluchetti, Andrea Costa, Carlotta Cocco (parti 1, 2) (R2M Solutions); Jennifer Adami, Juan Mahecha, Elena Lucchi (parte 3) (Eurac Research).

Dettaglio documento:

Titolo “Mappatura solare e potenziale territoriale” (WP3.2)

Work Package: WP3

Data di pubblicazione: 30/08/2021

Dettaglio progetto:

Titolo del progetto: BIPV MEETS HISTORY - CREAZIONE DI UNA CATENA DI VALORE PER IL FOTOVOLTAICO INTEGRATO IN ARCHITETTURA NEL RISANAMENTO ENERGETICO DEL PATRIMONIO COSTRUITO STORICO TRANSFRONTALIERO

Codice progetto: 603882

Codice CUP: D56C18000610007

Durata del progetto: Maggio 2019 - Agosto 2022

Partners:



Operazione co-finanziata dall'Unione europea, Fondo Europeo di Sviluppo Regionale, dallo Stato Italiano, dalla Confederazione elvetica e dai Cantoni nell'ambito del Programma di Cooperazione Interreg V-A Italia-Svizzera

SOMMARIO

Il progetto mira a creare nuove prospettive di business nei territori transfrontalieri tra Italia e Svizzera per la filiera del fotovoltaico integrato (BIPV) nel recupero del patrimonio edilizio storico e del paesaggio, rispondendo alle politiche europee, nazionali e locali in fatto di efficienza energetica e di tutela del patrimonio culturale. La filiera sarà basata sulla complementarità di expertise tra Pubbliche Amministrazioni, ricerca e imprese dei settori della costruzione e del fotovoltaico al fine di aprire un mercato che porterà benefici economici e produttivi per tutti gli attori della catena del valore.

L'analisi del contesto legislativo, normativo e procedurale, l'individuazione delle barriere e delle potenzialità di mercato e la stima del potenziale solare di un'area di confine permetteranno di individuare le possibilità di sviluppo di tale mercato. Il coinvolgimento di tutti utenti servirà ad aumentare la conoscenza e a rimuovere gli ostacoli che rallentano la diffusione delle tecnologie BIPV in questi contesti. Il progetto raccoglierà casi di studio esemplari a livello europeo e internazionale (sia a carattere architettonico sia aziendale), definendo criteri guida e strumenti per favorire la diffusione del BIPV. Il materiale sarà la base per la creazione di una piattaforma digitale e dello sviluppo di nuovi modelli di business e meccanismi finanziari per gli stakeholders coinvolti. La disseminazione dei risultati e del materiale sviluppato nel progetto intende migliorare il trasferimento tecnologico e culturale su tutta la catena del valore e creare uno strumento operativo replicabile nelle diverse aree transfrontaliere.

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	7
2	ANALISI DEL PATRIMONIO IMMOBILIARE E DELLE TIPOLOGIE EDILIZIE NELL'AREA DI STUDIO	7
2.1	AREA DI STUDIO	8
2.1.1	Tutele dell'area di studio	9
2.1.2	Tutela paesaggistica e aree di notevole interesse pubblico (Art. 136 e 142 del D. Lgs. 42/04)	10
2.1.3	Tutela dei beni culturali, artistici, storici, architettonici ai sensi dell' <i>art. 10 del D. Lgs.42/04.</i>	11
2.1.4	Individuazione delle principali tipologie di aree	13
2.2	METODOLOGIA DI ANALISI	15
2.2.1	Analisi delle principali tipologie di aree	15
2.2.2	Area 1: Nuclei di antica formazione – Il centro storico di Como	16
2.2.3	Area 2: Parchi regionali – il Parco Regionale Spina Verde	18
2.2.4	Area 4: Aree industriali	21
2.3	ANALISI DELLE FONTI	23
2.3.1	Tipologie edilizie rilevanti	24
2.3.2	Ville e palazzi, i luoghi storici di dimora	25
2.3.3	Asilo	44
2.3.4	Ville con Parco	44
2.3.5	Cascine	46
2.3.6	I Mulini	48
2.3.7	Edifici Produttivi	50
2.3.8	Edifici residenziali	51
2.4	CREAZIONE DEL DATABASE	52
2.4.1	Informazioni associate al database	52
3	POTENZIALE SOLARE FOTOVOLTAICO DEL PATRIMONIO IMMOBILIARE DELL'AREA DI STUDIO	60
3.1	DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI INSERIMENTO DI SISTEMI FOTOVOLTAICI	60
3.2	PROFILI DI CARICO	63
3.2.1	Descrizione del modello	63
3.2.2	Calibrazione del modello di occupazione e attività	68
3.2.3	Profili di domanda elettrica - Caso di studio	70

3.3	VALUTAZIONE DEL POTENZIALE SOLARE FOTOVOLTAICO	72
3.3.1	Descrizione del modello	72
3.3.2	Metodologia applicata nelle simulazioni	73
3.3.3	Risultati delle simulazioni	75
4	CONCLUSIONI	83
5	RIFERIMENTI	85

GLOSSARIO

BIPV: Building Integrated photovoltaics

SIRBeC: Sistema Informativo regionale dei Beni Culturali

PGT: Piano di Governo del Territorio

DBTR: Database topografico regionale

D.U.S.A.F.: Destinazione d'Uso dei Suoli Agricoli e Forestali

S.I.B.A.: Sistema informativo beni e ambiti paesaggistici

S.I.T.: Sistema informativo territoriale

PTC: Piano Territoriale di Coordinamento

PV: Photovoltaics

MiBACT: Ministero per i beni e le attività culturali e per il turismo

D. Lgs: Decreto Legislativo

1 INTRODUZIONE

Lo scopo di questo documento è presentare la metodologia sviluppata ed i risultati del WP3.2 “Mappatura solare e potenziale territoriale”. A tal fine, vengono eseguite due fasi principali: nella prima fase, viene eseguita un'analisi del patrimonio edilizio della regione per mappare ed analizzare le tipologie edilizie più ricorrenti in ambiti tutelati, sulle quali verrà successivamente valutata la compatibilità con tecnologie fotovoltaiche integrate, di seguito definite BIPV (Building Integrated Photovoltaics); nella seconda fase, viene valutato il potenziale BIPV della regione. Quest'ultima attività è suddivisa in due parti: prima, è presentata la metodologia sviluppata per la generazione di profili di domanda di carico che tengano conto della natura stocastica del comportamento degli occupanti, nonché dei fattori culturali e demografici che influenzano tale comportamento; poi, viene descritta la metodologia sviluppata per effettuare il calcolo del potenziale solare fotovoltaico nel coprire il carico elettrico degli edifici (Load Matching). Figura 1.1 presenta uno schema generale del lavoro sviluppato.

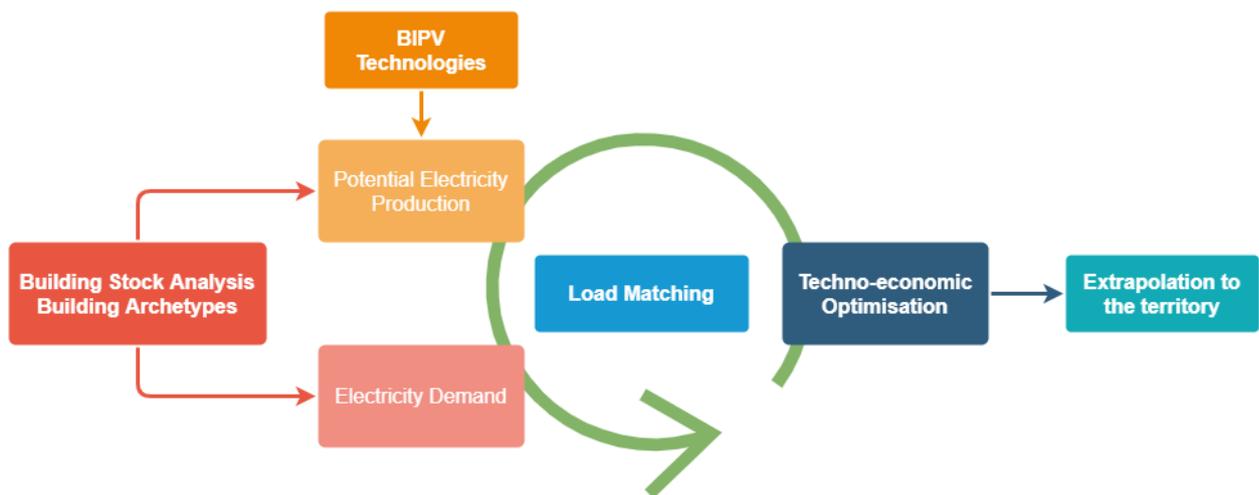


Figura 1.1. Metodologia - Schema generale

2 ANALISI DEL PATRIMONIO IMMOBILIARE E DELLE TIPOLOGIE EDILIZIE NELL'AREA DI STUDIO

Il patrimonio edilizio italiano è costituito al 70% da edifici esistenti con basse prestazioni energetiche. Nell'ottica di una diffusa riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente risulta quindi cruciale analizzare la compatibilità delle tipologie edilizie ricorrenti sul territorio con le tecnologie BIPV, per aprire la strada ad un'alta replicabilità su tutto il territorio.

Come area di studio sono stati selezionati 9 comuni con caratteristiche eterogenee all'interno della provincia di Como, al confine con il territorio elvetico. L'analisi si è poi concentrata prevalentemente sul comune di Como, data la presenza sul territorio delle diverse tipologie di

area individuate come maggiormente rappresentative ai fini dell'analisi e l'elevato numero di fonti documentali; tuttavia, in mancanza di dati specifici, si è scelto di analizzare anche fonti appartenenti a comuni e aree limitrofe, ricadenti nella Provincia di Como.

Una prima classificazione è stata fatta suddividendo il territorio a seconda delle tipologie di tutela maggiormente significative riscontrate e delle aree ritenute particolarmente adatte per l'applicazione di BIPV (es. aree industriali). Dall'analisi sono emerse 4 tipologie di aree su cui concentrare l'analisi: i nuclei di antica formazione/centri storici, i parchi regionali, le zone rurali e le aree industriali. Successivamente sono state selezionate delle aree campione rappresentative per ogni tipologia di area ed è stata svolta un'analisi sugli edifici presenti, sulla base delle fonti documentali disponibili e degli strumenti web. Grazie alle fonti analizzate è stato infine redatto un censimento delle tipologie edilizie individuate in ogni area analizzata.

Per svolgere quest'analisi ci si è avvalsi sia di piattaforme online che di documenti ufficiali della Regione Lombardia che del comune di Como. Di seguito si riporta l'elenco dei documenti ufficiali analizzati:

- Schede SIRBEC – per l'analisi delle architetture storiche con vincolo monumentale;
- PGT del comune di Como;
- PTC del Parco Spina Verde;
- DBTR – Database topografico regionale;
- Catasto;
- DUSAF;
- SIBA;
- SIT;
- Tabula.

2.1 AREA DI STUDIO

Per l'analisi del patrimonio edilizio delle aree poste al confine con il territorio elvetico, sono stati selezionati 9 comuni con caratteristiche territoriali eterogenee sia dal punto di vista paesaggistico che urbanistico-edilizio: Colverde, San Fermo della Battaglia, Montani Lucino, Como, Brunate, Maslianico, Cernobbio, Moltrasio, Carate Urio.

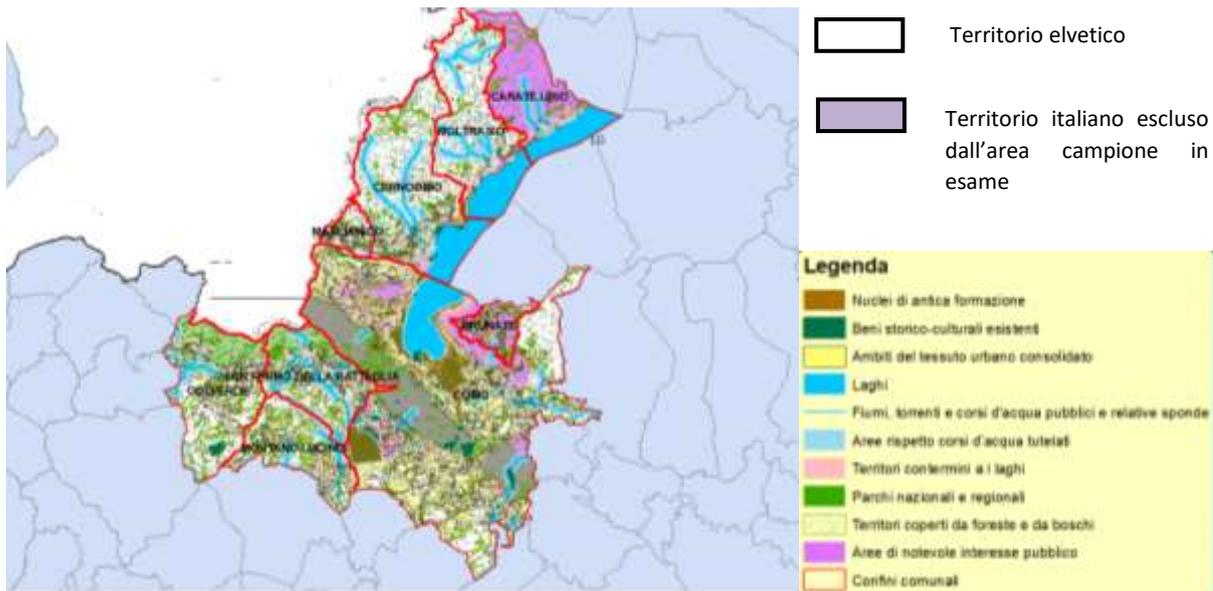


Figura 2.1 Area di studio selezionata (Immagine estrapolata con software GIS da Regione Lombardia)

Per individuare le tipologie edilizie più ricorrenti in ambiti tutelati, è stata fatta una prima analisi volta ad identificare le **principali tipologie di aree** presenti nell'area di studio, classificandole considerando:

- tipologia di tutele;
- uso del suolo;
- densità abitativa;
- presenza prevalente di tipologie edilizie all'interno delle fonti documentali.

2.1.1 Tutele dell'area di studio

Con il termine "tutela" si intende ogni attività diretta ad individuare e proteggere un bene del patrimonio culturale, garantendone la conservazione per fini di pubblica fruizione.

Dal punto di vista normativo, la tutela delle architetture e del paesaggio è disciplinata dal "Codice dei beni culturali e del paesaggio", D.Lgs. n. 42 del 2004 [1]. Con questo decreto viene recepito il concetto di "paesaggio" espresso nella Convenzione europea, ovvero come "una parte di territorio così come è percepita dalle popolazioni, il cui carattere risulta dall'azione di fattori naturali e/o umani e dalle loro interrelazioni".

Dall'analisi è emerso che l'area è soggetta a tre tipologie di tutela principali:

- tutela paesaggistica, "ope legis" ai sensi dell'art. 142 D. Lgs. 42/04;
- tutela di aree di Notevole interesse pubblico ai sensi dell'art. 136 D. Lgs. 42/04;
- tutela dei beni culturali, artistici, storici, architettonici espressa ai sensi dell'art. 10 del D. Lgs.42/04.

In particolare, gli articoli 136 (ex Legge 1497/39) e 142 (ex Legge Galasso 431/85) fanno riferimento alla disciplina del paesaggio, mentre l'articolo 10 del codice fa riferimento alla tutela dei beni culturali [1].

2.1.2 Tutela paesaggistica e aree di notevole interesse pubblico (Art. 136 e 142 del D. Lgs. 42/04)

La parte terza del D. Lgs. 42/04 disciplina l'individuazione dei beni paesaggistici. Secondo il disposto normativo oggi vigente, questi beni sono divisibili in due macrocategorie, a seconda delle seguenti modalità:

- beni direttamente individuati mediante dichiarazione di notevole interesse pubblico (Art. 136);
- beni individuati dall'ex legge Galasso (Art. 142).

Secondo l'articolo 136 del D. Lgs. 42/04 *"i beni di notevole interesse pubblico sono costituiti dalle cose immobili che hanno cospicui caratteri di bellezza naturale o di singolarità geologica, le ville, i giardini e i parchi che si distinguono per la loro non comune bellezza, i complessi di cose immobili che compongono un caratteristico aspetto avente valore estetico e tradizionale, le bellezze panoramiche considerate come quadri e così pure quei punti di vista o di belvedere, accessibili al pubblico, dai quali si goda lo spettacolo di quelle bellezze"* [1].

Le categorie di beni assoggettati a tutela ope legis secondo art. 142 del D. Lgs. 42/04, sono elementi fisico-geografici (coste e sponde, fiumi, rilievi, vulcani, ghiacciai, parchi e riserve, zone umide), utilizzazioni del suolo (boschi, foreste e usi civici), testimonianze storiche (università agrarie e zone archeologiche), parchi e foreste [1].

Le immagini seguenti mostrano le tutele ai sensi degli articoli 142 e 136 del D. Lgs. 42/04 presenti sul territorio soggetto ad 'analisi.



Figura 2.2 Beni soggetti a tutela paesaggistica, ai sensi dell'art. 142 D. Lgs. 42/04 (Immagine estrapolata con software GIS da Regione Lombardia)

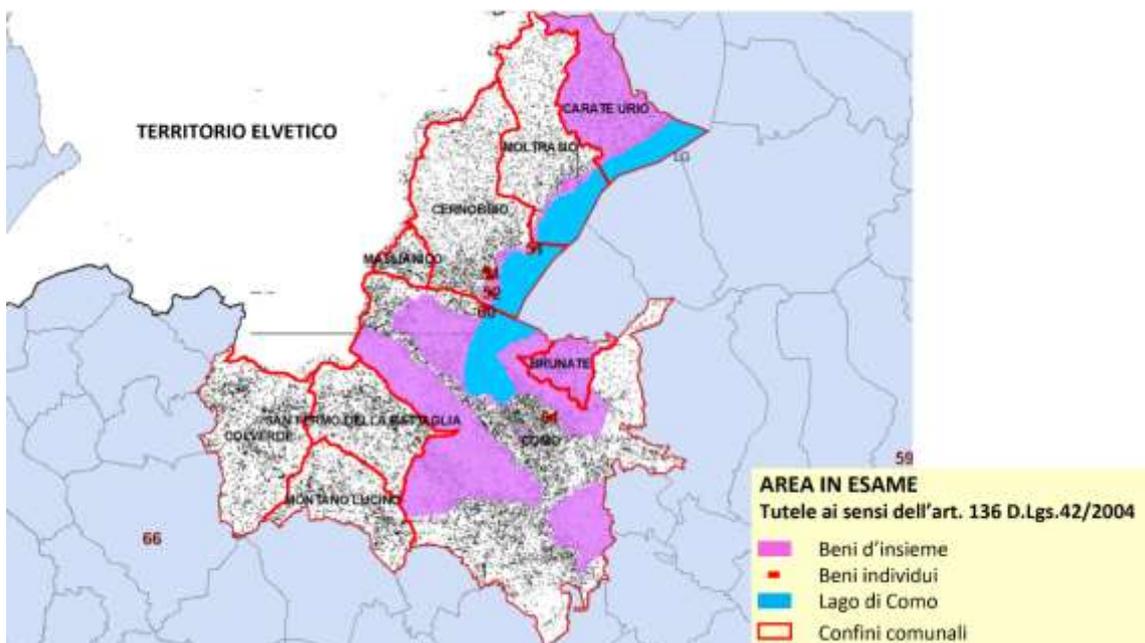


Figura 2.3 Aree di Notevole interesse pubblico ai sensi dell'art. 136 D. Lgs. 42/04 (Immagine estrapolata con software GIS da Regione Lombardia)

Dall'analisi delle mappe e del Sistema Informativo Beni e Ambiti paesaggistici (S.I.B.A.) [2], che raccoglie tutte le informazioni relative ai beni e agli ambiti paesaggistici individuati sul territorio lombardo e alle relative forme di tutela e valorizzazione, è emerso che le principali tutele paesaggistiche a cui è soggetta l'area sono:

- Aree di rispetto dei corsi d'acqua tutelati;
- Territori contermini a laghi;
- Parchi regionali.

In particolare, l'area soggetta a tutela "Parco regionale" ricopre una porzione considerevole dell'area analizzata e presenta tipologie edilizie caratteristiche del territorio.

2.1.3 Tutela dei beni culturali, artistici, storici, architettonici ai sensi dell'art. 10 del D. Lgs.42/04.

La seconda parte del D. Lgs. 42/04 disciplina i beni culturali che sono oggetto di tutela da parte del MiBACT. Secondo l'articolo 10 del D.Lgs.42/04 "sono beni culturali le cose immobili e mobili appartenenti allo Stato, alle regioni, agli altri enti pubblici territoriali, nonché' ad ogni altro ente ed istituto pubblico e a persone giuridiche private senza fine di lucro, che presentano interesse artistico, storico, archeologico o etnoantropologico" [1].

I beni architettonici sottoposti a tutela, in quanto beni culturali ai sensi dell'art. 10 del D.Lgs.42/04, sono:

- gli immobili di proprietà pubblica che siano stati costruiti da oltre settantant'anni e che presentino interesse storico-artistico;

- gli immobili di proprietà privata (art.10, 3° comma), costruiti da oltre cinquant'anni, quando si sia verificato che presentino interesse artistico, storico, archeologico o etnoantropologico particolarmente importante, o, anche quando non siano costruiti da oltre cinquant'anni, se rivestono un interesse particolarmente importante per il loro riferimento con la storia politica, militare, della letteratura, dell'arte e della cultura in genere ovvero quali testimonianze dell'identità e della storia delle istituzioni pubbliche, collettive o religiose;
- le pubbliche piazze, vie, strade e altri spazi aperti urbani di interesse artistico o storico;
- le ville, i parchi e i giardini che abbiano interesse artistico o storico;
- i siti minerari di interesse storico od etnoantropologico;
- le architetture rurali aventi interesse storico od etnoantropologico quali testimonianze dell'economia rurale tradizionale.

Per l'esecuzione di opere e di lavori di qualunque genere su beni identificati come culturali occorre l'autorizzazione della Soprintendenza.

Nell'immagine seguente sono riportati i "beni architettonici di interesse culturale dichiarato" presenti sul territorio soggetto ad analisi.

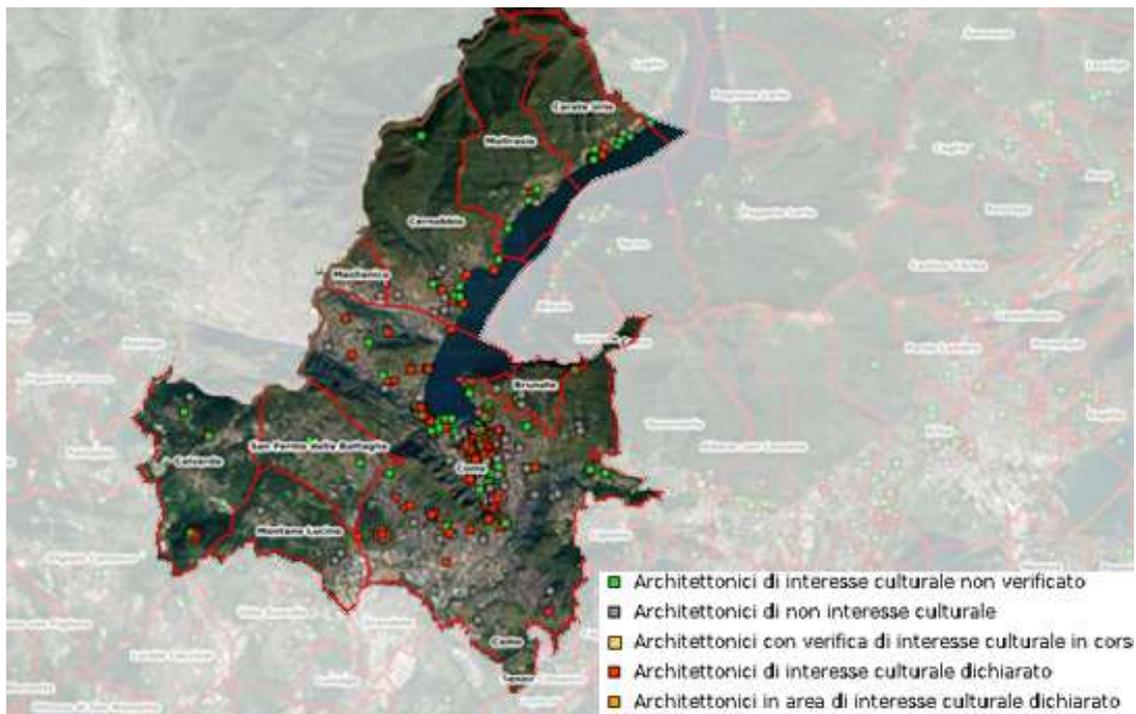


Figura 2.4 Beni culturali, artistici, storici ed architettonici estratto da "Vincoli in rete" [3]

È evidente come nel centro storico del comune di Como, zona corrispondete ad un nucleo di antica formazione, la presenza di beni architettonici di interesse culturale dichiarato sia maggiore rispetto alle aree circostanti.

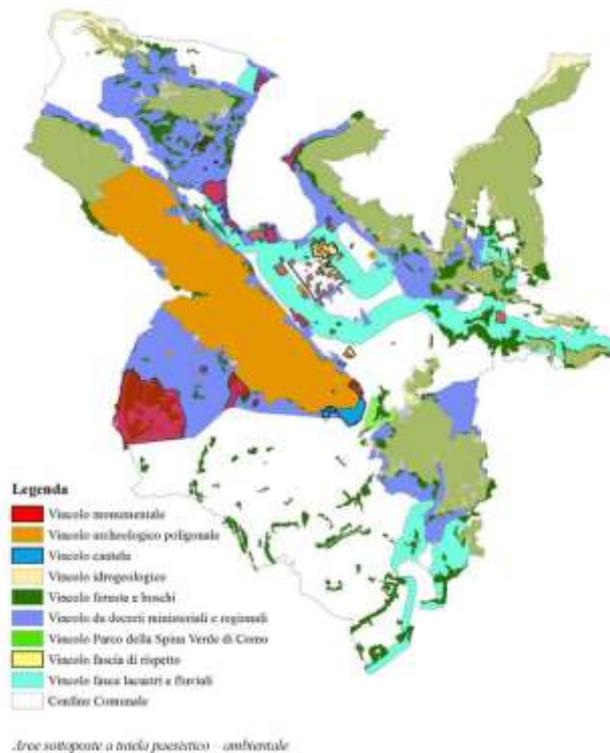


Figura 2.5 Aree del comune di Como sottoposte a tutela paesistico ambientale, estratto da PGT di Como [4]

2.1.4 Individuazione delle principali tipologie di aree

Definite le tipologie di tutela presenti, si è analizzato il sistema informativo territoriale regionale, che ad oggi dispone del DUSAF (destinazione d'uso dei suoli agricoli e forestali), una banca dati geografica che classifica il territorio sulla base delle principali tipologie di copertura e utilizzo del suolo. Seguendo la suddivisione delle aree fatta dal DUSAF in aree antropizzate, agricole, territori boscati ed ambienti seminaturali, aree umide e corpi idrici, sono state individuate le principali tipologie di copertura del suolo [5].

Tenendo conto del tipo di tutela presente, densità abitativa, ricorrenza di tipologie edilizie ed uso del suolo, sono state quindi individuate 4 aree principali:

- Area 1 – Nuclei di antica formazione/Nuclei storici;
- Area 2 – Parchi regionali;
- Area 3 – Aree rurali;
- Area 4 – Aree industriali.

I nuclei di antica formazione, i parchi regionali e le aree rurali sono ricchi di edifici soggetti a tutele paesaggistiche o monumentali. Le aree industriali non sono zone generalmente soggette a tutela, ma sono comunque state inserite tra le aree di analisi poiché presentano tipologie edilizie con un alto potenziale per l'applicazione di BIPV.

Dall'analisi è emerso che l'area del comune di Como è particolarmente significativa, poiché rappresentativa di tutte le tipologie di aree individuate, e presenta un numero elevato di fonti documentali, pertanto si è deciso di concentrare la ricerca in questa zona.

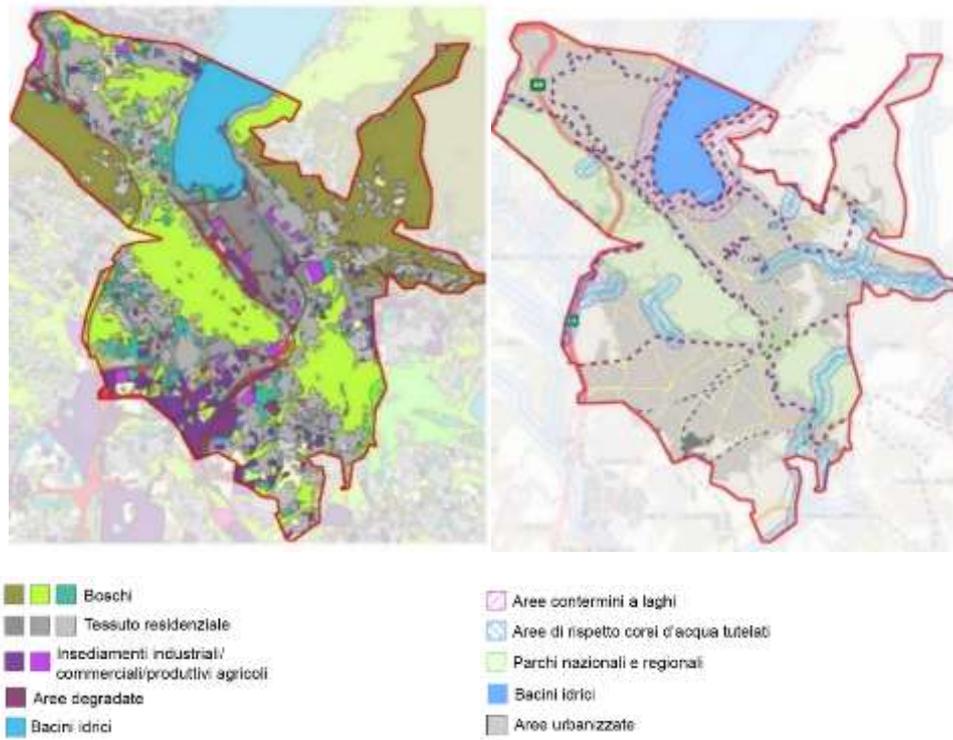


Figura 2.6 Vincoli paesaggistici evidenziati dal S.I.B.A.(sinistra) e Suddivisione del territorio evidenziata dal DUSAF (destra) per il comune di Como [5, 2]

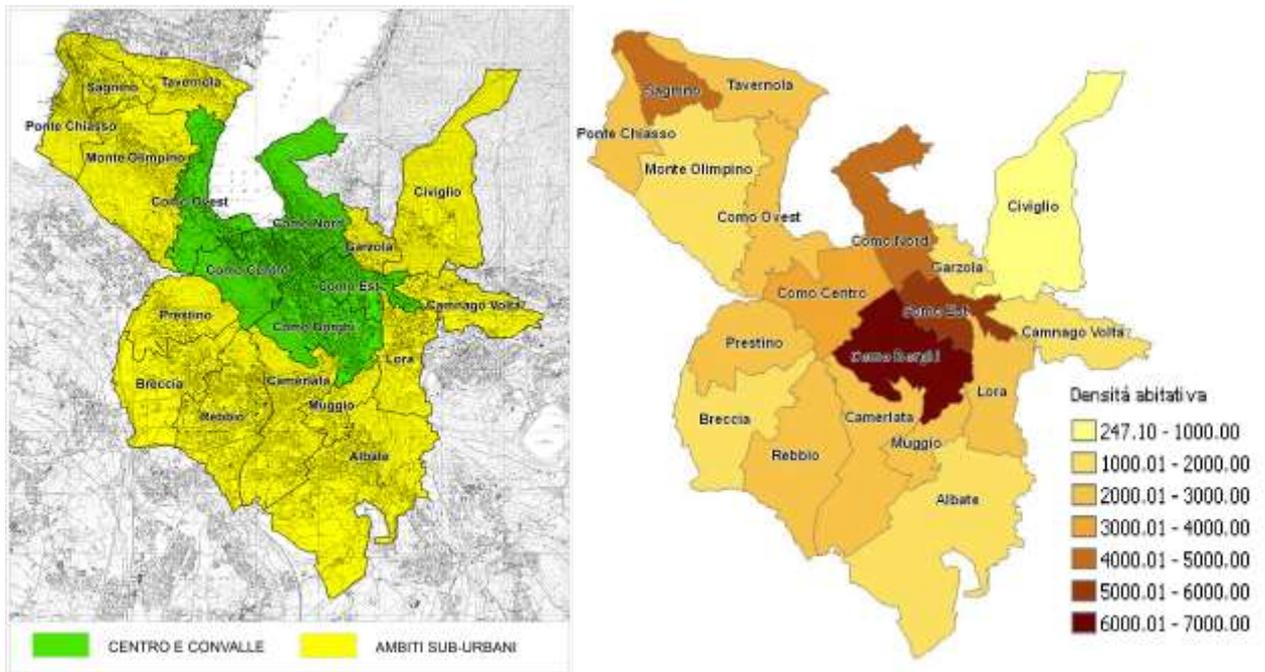


Figura 2.7 Ambiti urbani e sub-urbani (sinistra) e densità abitativa (destra) per il comune di Como estratto da PGT di Como [4]

2.2 METODOLOGIA DI ANALISI

Individuata l'area di studio e le principali tipologie di aree, si è proseguito con l'analisi come riportato di seguito:

- analisi delle **principali tipologie di aree** presenti nell'area di studio (identificate per tipologia di tutele, densità abitativa, presenza prevalente di tipologie edilizie);
- individuazione delle **tipologie edilizie rilevanti** all'interno di ogni tipologia di area identificata (da schede SIRBEC sull'area di studio, TABULA, piano paesaggistico comunale);
- analisi delle **caratteristiche delle tipologie edilizie** individuate (epoca storica, materiali, altezza, densità abitativa etc.) attraverso dati di consultazione (PGT, catasto, ISTAT);
- creazione del **database delle tipologie edilizie** con i dati estrapolati dalle fonti analizzate.

2.2.1 Analisi delle principali tipologie di aree

Per ogni tipologia di area sono state scelte le zone più significative su cui effettuare l'analisi campione, come riportato nel seguente elenco:

- Area 1 "Nuclei di antica formazione" – Centro storico Como;
- Area 2 "Parchi regionali" – Parco Spina Verde;
- Area 3 "Aree rurali" – Parco Spina Verde;
- Area 4 "Aree industriali" – Ex Ticosa, torrente Cosia, Camerlata.

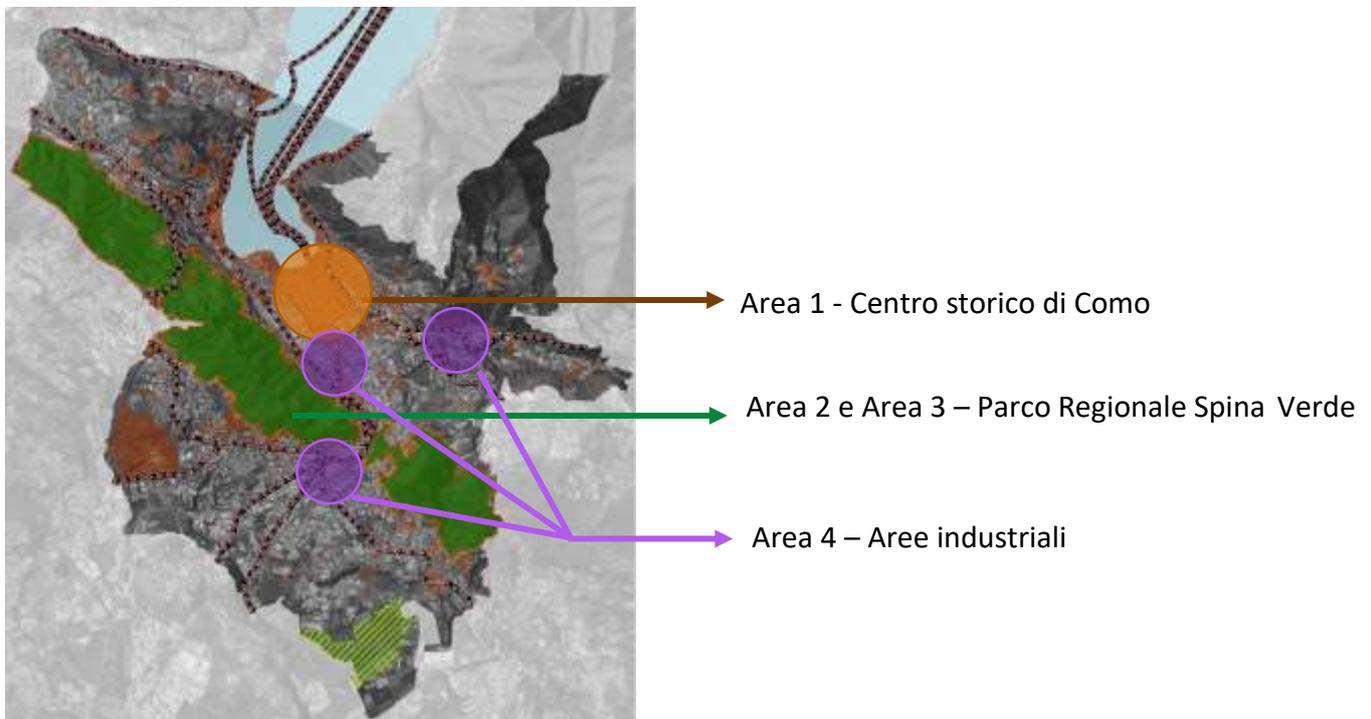
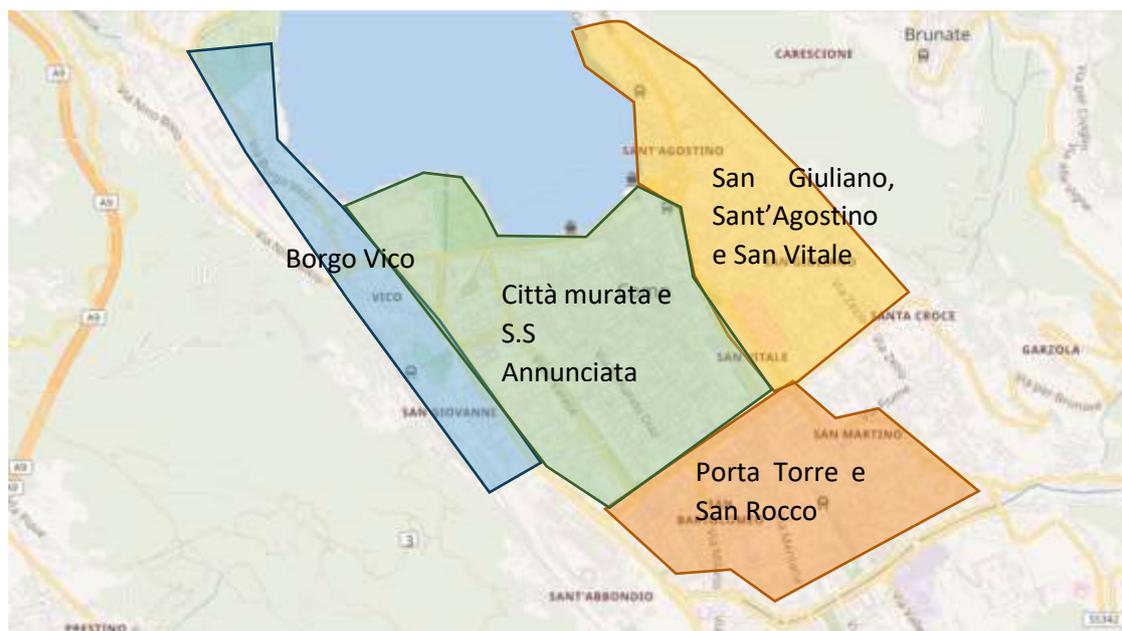


Figura 2.8 Aree selezionate per l'analisi

2.2.2 Area 1: Nuclei di antica formazione – Il centro storico di Como

I Nuclei di Antica Formazione sono parti del territorio costituite da tessuti urbani densi che presentano caratteristiche storiche, identitarie, morfologiche e tipologiche, riconoscibili dalla stratificazione dei processi della loro formazione. Queste aree sono ricche di edifici con valore storico monumentale o paesaggistico, e quindi soggetti a tutela. Il nucleo di antica formazione di Como coincide con il centro storico del comune e comprende le aree di: Porta Torre, San Rocco, Città Murata, Santissima Annunciata, Borgo Vico, San Giuliano, Sant'Agostino e San Vitale.



Sull'area sono presenti sia edifici soggetti a tutela paesaggistica, dovuta alla fascia di rispetto del lago e a aree di notevole interesse pubblico (Figura 2.9), sia edifici soggetti a tutela monumentale, come mostrato dalla tavola 1.2 "Carta beni storico artistico monumentali oggetto di tutela" del piano delle regole del PGT di Como (Figura 2.10 e Figura 2.11) [4].

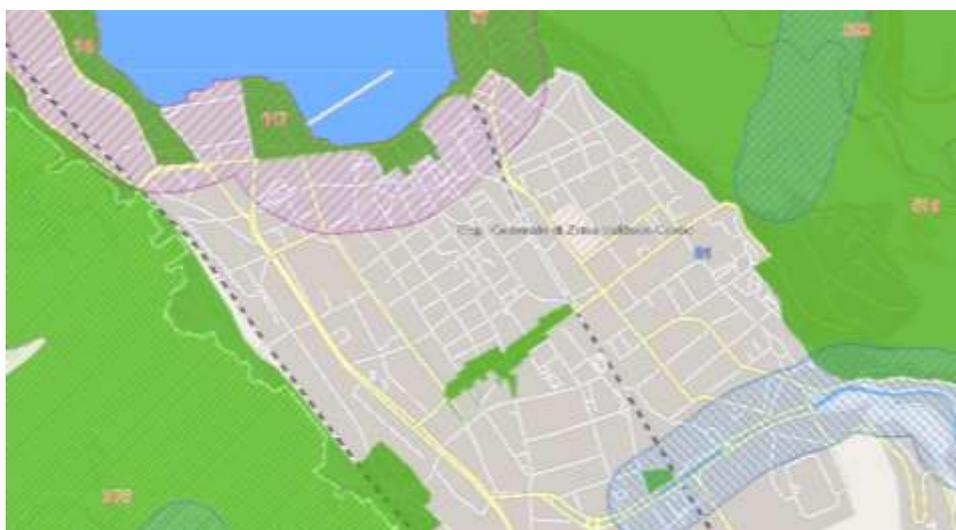


Figura 2.9 Vincoli paesaggistici per il comune di Como evidenziati dal S.I.B.A: in verde le aree di notevole interesse pubblico e tratteggiata l'area contermina al lago e ai fiumi [2]

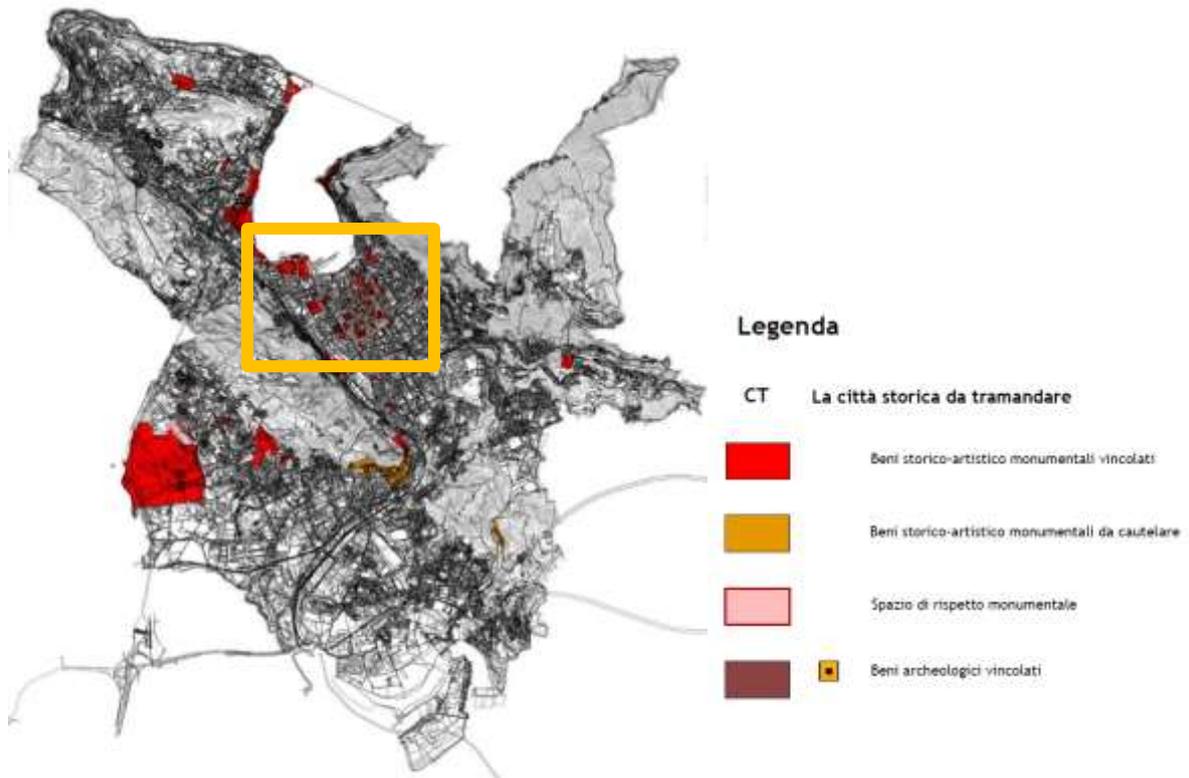


Figura 2.10 PDR Carta dell'assetto storico-paesaggistico e Carta dei beni storico-artistico-monumentali e/o archeologici oggetto di tutela, estratto da PGT di Como [4]



Figura 2.11 PDR Zoom del centro storico di Como, tratto dalla Carta dell'assetto storico-paesaggistico e Carta dei beni storico-artistico-monumentali e/o archeologici oggetto di tutela, estratto da PGT di Como [4]

2.2.3 Area 2: Parchi regionali – il Parco Regionale Spina Verde

L'area del Parco Regionale all'interno del Comune di Como, è ben rappresentata dal Parco Regionale Spina Verde, che si estende sulla fascia collinare a nord ovest di Como, a cavallo del confine italo – svizzero e si caratterizza per essere un balcone panoramico a 360 gradi sul territorio circostante.

Il Parco Regionale Spina Verde è caratterizzato, oltre che dai numerosi resti archeologici e storici, anche da siti di estremo interesse naturalistico e paesaggistico. Proprio per le valenze ambientali intrinseche, il Parco Regionale ha ottenuto lo status di Parco Naturale e quello di Sito di Interesse Comunitario.

Prima dell'istituzione del Parco Spina Verde, molte delle aree che in essa sono confluite erano già state tutelate nel Piano Regolatore del Comune di Como approvato dalla Regione nel 1975. Le aree destinate a Parco erano vincolate in parte come Zona F "Parchi pubblici e territoriali", in parte come Zona EA "zona di rispetto archeologico" e in parte come Zona E "agricola", ponendo in atto una salvaguardia che è risultata essenziale per la successiva formazione del Parco [4].

Come mostrato in Figura 2.12, il Parco Spina Verde è interessato da un'area di notevole interesse pubblico ed è soggetto a tutela paesaggistica in quanto Parco Regionale. Ne consegue che tutti gli edifici presenti sull'area sono soggetti a tutela paesaggistica. Non si rileva la presenza di un numero consistente di edifici dal valore storico artistico soggetti a tutela monumentale.



Figura 2.12 Vincoli paesaggistici per il comune di Como evidenziati dal S.I.B.A: in verde le aree di notevole interesse pubblico e tratteggiata l'area Parchi regionali e nazionali [2]

Area 3: Aree Rurali – il Parco Spina Verde

Come anticipato nel paragrafo precedente, l'istituzione del Parco Regionale Spina Verde ha unificato aree soggette a diversi tipi di tutela, tra le quali vi sono le zone agricole. La Figura 2.13 mostra la distribuzione delle aree agricole all'interno del comune di Como secondo il DUSAF [4]. Sebbene la maggior parte delle aree agricole si concentri nelle zone di Breccia ed Albate e, solo in parte minore, nel Parco Spina Verde, si è deciso di selezionare quest'ultimo come area di studio per le aree rurali. Il Parco Regionale infatti, a differenza delle altre aree, è soggetto a tutela paesaggistica e pertanto, essendo questa ricerca volta all'analisi delle principali tipologie edilizie in ambiti tutelati, è più attinente delle altre aree individuate allo scopo finale del progetto.

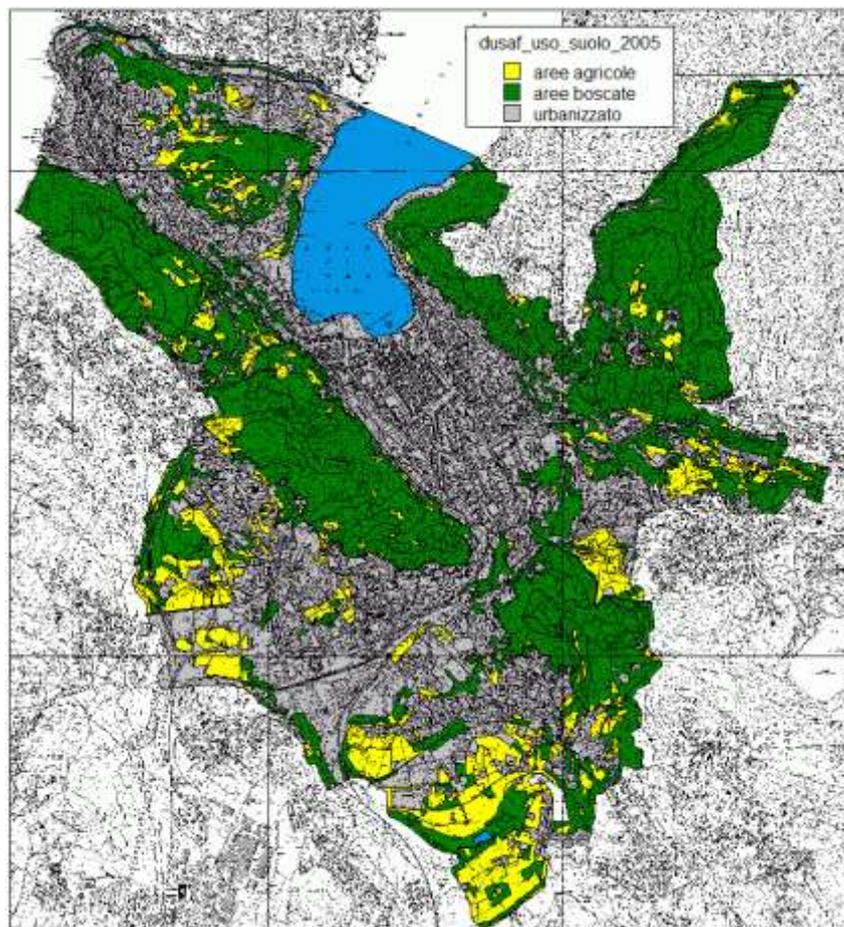


Figura 2.13 Carta dell'uso del suolo estratta dal PDR del PGT del comune di Como [4]

La scelta è avvalorata dal PGT del comune di Como, secondo cui la maggior parte dei luoghi con valore simbolico della civiltà contadina, ovvero quei siti in cui si riscontrano le permanenze della storia rurale del territorio, come testimonianza delle attività agricole e delle sue forme di conduzione, sono localizzati all'interno del Parco regionale "Spina Verde" (circa il 63%) [4].

Si può quindi affermare che il Parco Spina verde sia rappresentativo non solo dell'area "Parco Regionale", ma anche delle "Aree rurali".

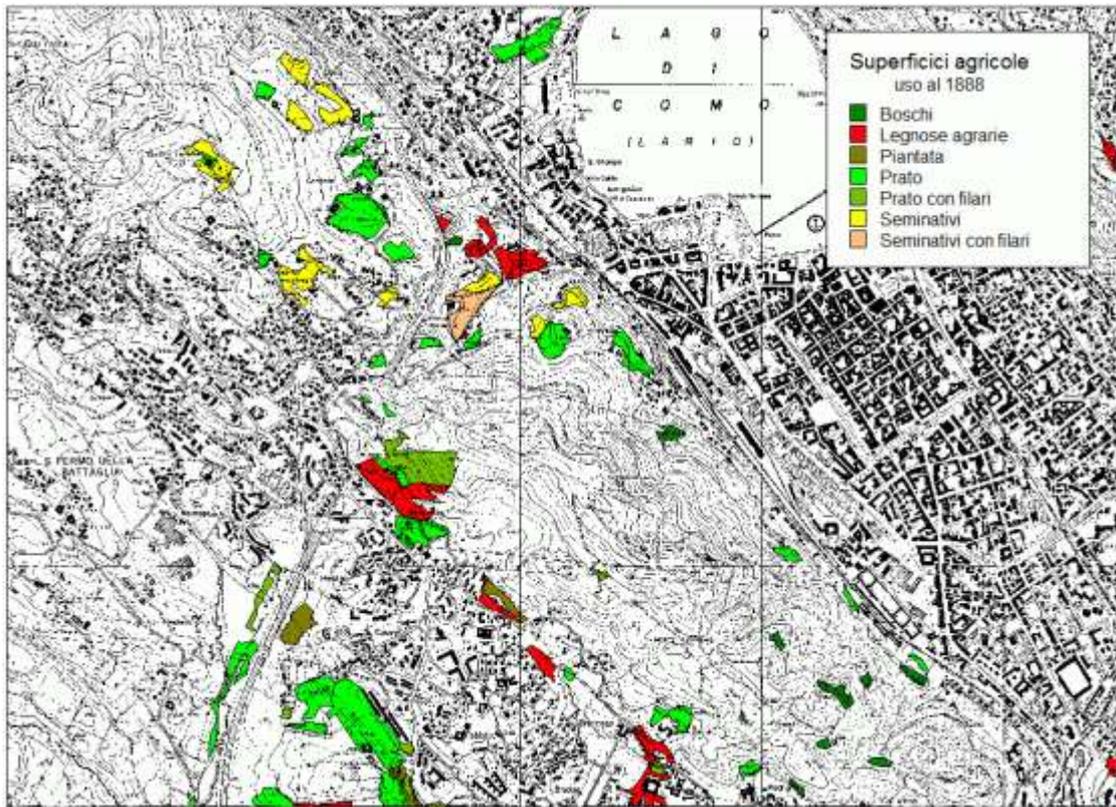


Figura 2.14 Uso storico delle aree agricole del Parco Regionale Spina Verde estratto dal PDR del PGT del comune di Como [4]

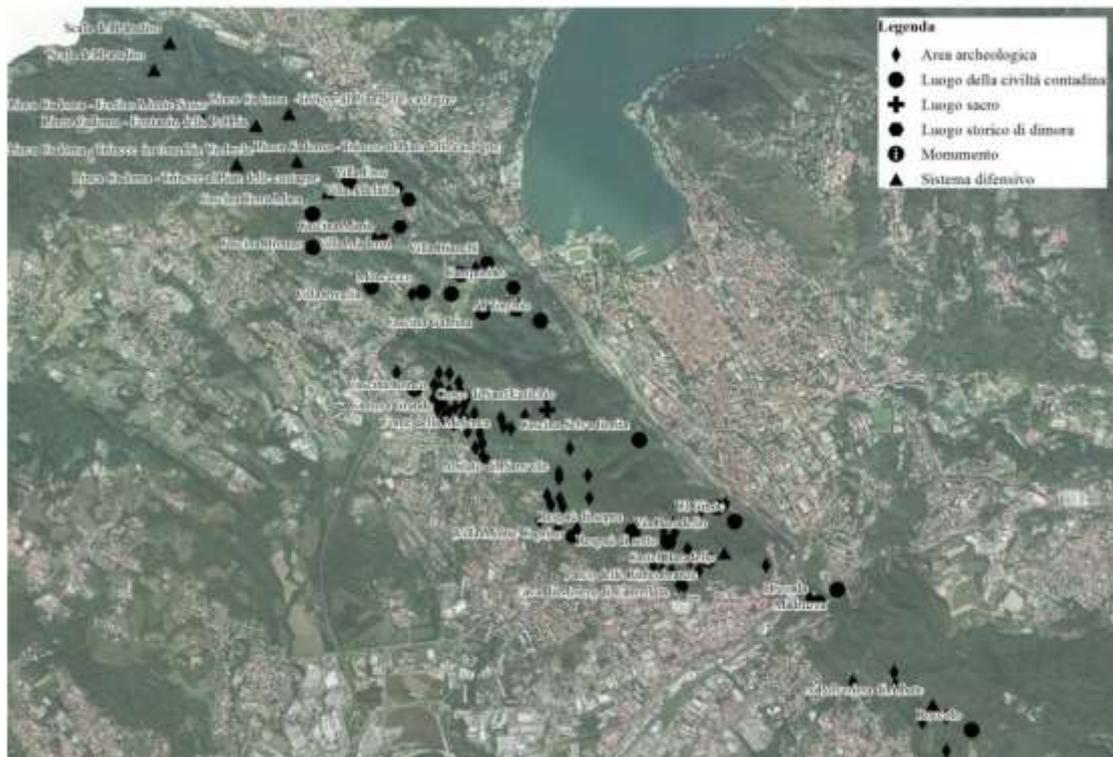


Figura 2.15 Carta dei valori simbolici del Parco Regionale Spina Verde estratto dal PGT del comune di Como [4]

2.2.4 Area 4: Aree industriali

Le aree industriali generalmente non sono soggette a tutela monumentale o architettonica, ma sono state comunque individuate come area di studio in quanto gli edifici che insistono su di esse offrono un altissimo potenziale di applicazione di BIPV. Queste aree presentano un alto grado d'intervenibilità sia per la struttura degli edifici produttivi, generalmente caratterizzati da coperture piane, grandi vetrate e facciate rivestite, sia per la possibilità di integrare BIPV in opere di riassetto e rigenerazione urbana delle aree degradate e delle aree industriali dismesse.

Le testimonianze storiche degli insediamenti industriali locali, sono identificate dal PGT di Como come luoghi della civiltà industriale, localizzate lungo il torrente Cosia, sia in località Camnago Volta che in Convalle, in Val Mulini, a Camerlata, ad Albate e lungo il fiume Breggia. Parte considerevole del tessuto produttivo è stato trasformato negli ultimi 15 anni, pertanto complessivamente i luoghi della civiltà industriale oggi registrano una bassa incidenza.

Per cercare di mappare la realtà industriale del comune di Como sono state individuate diverse aree di studio:

- Aree industriali dismesse soggette a tutela: area Ex Ticosa e torrente Cosia;
- Aree industriali dismesse non soggette a tutela: Palazzina ex Fisac di Camerlata;
- Aree con testimonianze storiche degli insediamenti industriali: Torrente Cosia;
- Aree industriali con edifici produttivi senza valore storico: Torrente Cosia.

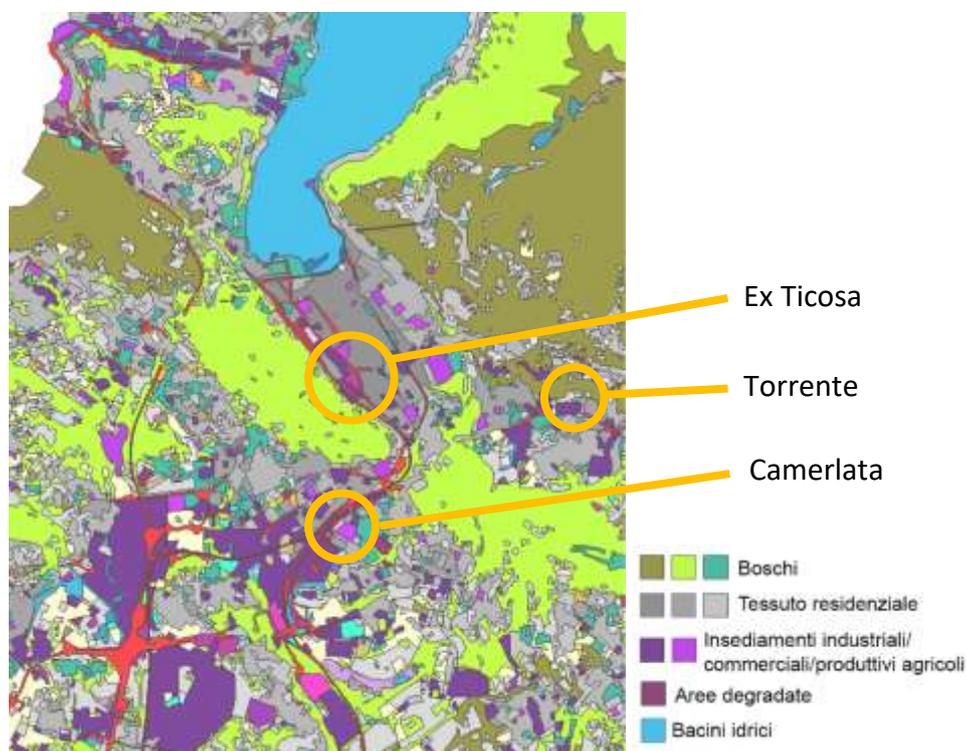


Figura 2.16 Suddivisione del territorio evidenziata dal DUSAF per il comune di Como, con Aree industriali selezionate per l'analisi [5]



Figura 2.17 Vincoli paesaggistici per il comune di Como evidenziati dal S.I.B.A: in verde le aree di notevole interesse pubblico e tratteggiate l'area contermina ai fiumi (azzurro) e l'area Parco naturale (verde) [2]

Sulle aree selezionate sono presenti sia edifici soggetti a tutela paesaggistica, dovuta alla fascia di rispetto del torrente Cosia (Figura 2.17), sia edifici soggetti a tutela monumentale.

2.3 ANALISI DELLE FONTI

Per l'analisi del patrimonio immobiliare e delle tipologie edilizie residenziali nell'area di studio, è stata svolta una ricerca preliminare delle fonti disponibili. Questo processo ha evidenziato come il comune di Como disponga di fonti documentali in numero ben maggiore rispetto agli altri comuni individuati per quest'analisi.

Come mostrato in Tabella 2.1 tra le fonti analizzate vi sono sia documenti urbanistici del Comune di Como, che web tools ufficiali della Regione Lombardia, come SIBA e DUSAF.

	Fonte	Descrizione
DOCUMENTI	PTC del Parco regionale Spina Verde: - Piano di settore ville con Parco - Piano di settore di utilizzo delle aree agricole	Dati generici e non esaustivi sulle ville con Parco e le aree agricole del Parco Spina Verde
	Schede SIRBEC	Numero esiguo di schede disponibili, per le aree 2,3 e 4
	PGT del Comune di Como: <ul style="list-style-type: none"> • Documento di Piano <ul style="list-style-type: none"> - Relazione - Tavole • Piano delle Regole <ul style="list-style-type: none"> - Relazione - Tavole - Schede delle pertinenze storiche comprese nella convalle (Area 1 – Centro di Como) - Elenchi beni storico - artistico monumentali e/o archeologico vincolati o da cautelare 	Documento con molte informazioni, contiene un'analisi dettagliata del centro storico di Como (area 1) e un'analisi complessiva delle altre aree individuate (area 2, 3 e 4)
WEB TOOLS	DBTR - Database Topografico regionale	Planimetria, densità edilizia
	SIBA	Tutele area analizzata
	DUSAF	Destinazione d'uso area analizzata
	Viewer 3D	Altezza e forma edifici
	Catasto	Planimetria, densità edilizia
	Geoportale Como	Cartografia, metadati
	Vincoli in rete	Beni architettonici tutelati
	Google Maps	Info visive (materiali, copertura etc.)

Tabella 2.1 Fonti consultate

Il PGT di Como è stato il documento di riferimento per l'analisi, utile soprattutto per l'individuazione delle tipologie edilizie ricorrenti nelle diverse aree e per l'analisi dettagliata dell'area 1. Contiene infatti le schede delle pertinenze storiche comprese nella convalle, che descrivono in maniera esaustiva le caratteristiche fisico-morfologiche di oltre 1.000 edifici del nucleo di antica formazione comasco. Grazie a queste schede è stato possibile reperire tutte le informazioni necessarie alla compilazione del database, mentre per le aree 2,3 e 4, non è

sempre stato possibile individuare informazioni complete inerenti all'epoca costruttiva, lo stato di conservazione e la destinazione d'uso (Tabella 2.2).

Tipologie Edilizie	Area 1 Nuclei antica formazione	Area 2 Parchi regionali	Area 3 Aree rurali	Area 4 Aree industriali
Epoca di costruzione	X			
Stato di conservazione	X			
Destinazione d'uso	X			
Numero di piani	X	X	X	X
Planimetria	X	X	X	X
Tutela	X	X	X	X
Copertura	X	X	X	X
Elementi in facciata	X	X	X	X

Tabella 2.2 Informazioni ricavate per le diverse aree di studio analizzate

2.3.1 Tipologie edilizie rilevanti

Dall'analisi delle fonti è emerso che vi sono tipologie edilizie ricorrenti e caratteristiche del territorio comasco all'interno delle aree analizzate. Le principali tipologie edilizie individuate nelle 4 aree di analisi sono:

- Villa;
- Palazzo;
- Asilo;
- Cascina;
- Villa con Parco;
- Mulini;
- Edifici produttivi;
- Edifici multifamiliari;
- Blocchi di appartamenti.

Tipologie Edilizie	Area 1 Nuclei antica formazione	Area 2 Parchi regionali	Area 3 Aree rurali	Area 4 Aree industriali
Villa	X			
Palazzo	X			
Asilo	X			
Cascina		X	X	
Villa con Parco		X		

Mulini				X
Edifici produttivi				X
Edifici multifamiliari	X	X	X	
Blocchi di appartamenti	X	X	X	

Tabella 2.3 Suddivisione delle tipologie edilizie in base all'area di analisi

Nei paragrafi successivi viene illustrata l'analisi delle principali tipologie edilizie evidenziate con valore storico-artistico e paesaggistico. Per l'analisi degli edifici residenziali senza particolare pregio storico-artistico e paesaggistico, identificati dalle categorie "Edifici multifamiliari" e "Blocchi di appartamenti" si rimanda alle informazioni accessibili dalla piattaforma online "TABULA" [6].

Tipologie Edilizie		Tutela			
AREA 1	Villa	Monumentale	Paesaggistica	Interesse Pub.	Nessuna
	Palazzo	Monumentale	Paesaggistica	Interesse Pub.	Nessuna
	Asilo	Monumentale	Paesaggistica	Interesse Pub.	Nessuna
	Edifici residenziale	Monumentale	Paesaggistica	Interesse Pub.	Nessuna
AREA 2	Villa con Parco	Monumentale	Paesaggistica	Interesse Pub.	Nessuna
	Cascina	Monumentale	Paesaggistica	Interesse Pub.	Nessuna
	Edificio residenziale	Monumentale	Paesaggistica	Interesse Pub.	Nessuna
AREA 3	Cascina	Monumentale	Paesaggistica	Interesse Pub.	Nessuna
	Edificio residenziale	Monumentale	Paesaggistica	Interesse Pub.	Nessuna
AREA 4	Mulino	Monumentale	Paesaggistica	Interesse Pub.	Nessuna
	Edificio produttivo	Monumentale	Paesaggistica	Interesse Pub.	Nessuna

Tabella 2.4 Tipi di tutela individuati per le diverse tipologie edilizie analizzate

2.3.2 Ville e palazzi, i luoghi storici di dimora

I palazzi urbani e le ville di epoca barocca e neoclassica, rappresentano i luoghi storici di dimora della città e rappresentano le due tipologie di edilizia storica più diffuse all'interno del territorio.

La maggior concentrazione di queste architetture ricorre all'interno della Città murata, ma sono altrettanto diffuse nel resto del territorio, con una prevalenza nei quartieri di Monte Olimpino, Prestino, Rebbio, Camnago Volta e nel Parco Spina Verde (Figura 2.18). Tuttavia, le ville del Parco spina verde, a differenza delle ville del centro città, sono dotate di ampi parchi e giardini e pertanto, in quest'analisi, rientrano nella tipologia edilizia "Ville con Parco" [4].



Figura 2.18 Distribuzione dei luoghi storici di dimora (sinistra) e villeggiatura lacustre (destra) estratto dal DDP del PGT del comune di Como [4]

Per l'analisi delle tipologie abitative nel centro storico, sono state consultate le schede delle pertinenze storiche comprese nella convalle contenute nel piano delle regole del PGT di Como. Queste schede descrivono in maniera esaustiva le caratteristiche fisico-morfologiche di oltre 1.000 edifici del nucleo di antica formazione comasco.

Le schede delle pertinenze storiche analizzate sono articolate nei quattro diversi ambiti della città murata (Cm) e dei borghi storici di Porta Torre (Pt), Vico (Bv) e Sant'Agostino (Sa); trattandosi di ambiti localizzati in contesti differenti e generatisi in momenti e per dinamiche diverse, gli edifici delle diverse zone sono contraddistinti da morfologia e caratteristiche differenti [4].

La città murata è il nucleo principale che contrassegna il centro di Como, è la porzione più densa del comune e, a differenza dei rimanenti ambiti esaminati, si configura come insediamento d'origine romana derivando dalla figura del "castrum" impostata essenzialmente su una struttura d'isolati quadrangolari. Il tipo edilizio più diffuso in quest'area è rappresentato da palazzi a corte distribuiti su lotti chiusi densamente edificati (Figura 2.20) [4].



Figura 2.19 Ortofoto significativa della tipologia edilizia delle corti chiuse su tre lati – pertinenza 355 delle schede delle pertinenze storiche del PGT di Como [4]



Figura 2.20 Immagini evocative della tipologia edilizia delle corti chiuse su tre lati – pertinenza 355 delle schede delle pertinenze storiche del PGT di Como [4]

Il borgo di Porta Torre è differente dalla città murata, non si è infatti sviluppato a partire dall'impianto regolare della centuriazione romana ma, al contrario, attorno all'arteria di comunicazione principale tra Como e il suo entroterra. In questa zona la tipologia edilizia prevalente, tipica delle zone sviluppatesi attorno ad un'arteria principale è quella di edifici su lotto gotico, stretto ed allungato, col lato corto a fronte strada, le funzioni commerciali localizzate ai piani terra e le residenze nei piani superiori.



Figura 2.21 Immagini evocative della tipologia edilizia delle corti chiuse su tre lati – pertinenza 155 delle schede delle pertinenze storiche del PGT di Como [4]

I borghi di Sant’Agostino e Vico non si sono sviluppati in prossimità di arterie commerciali di primaria importanza e non presentano la struttura organizzativa tipica del castrum romano.

Borgo di Sant’Agostino, nella zona adiacente al lago, è caratterizzato dalla presenza sia di edifici isolati su lotto, sia di ville prospicienti il lago. Nella zona in prossimità della città murata si individuano sia palazzi ad isolati chiusi, che palazzi a lotto gotico.



Figura 2.22 Ortofoto significativa delle differenti tipologie edilizie sorte in prossimità estratta dal PGT di Como [4]



Figura 2.23 Immagine evocativa della tipologia a villa in prossimità del lago – pertinenza 21 delle schede delle pertinenze storiche del PGT di Como [4]



Figura 2.24 Ortofoto significativa delle differenti tipologie edilizie sorte in prossimità della città murata estratta dal PGT di Como [4]



Figura 2.25 Immagini evocative della tipologia edilizia delle corti chiuse su tre lati – pertinenza 155 (sinistra) e della tipologia edilizia sorta su lotto gotico – pertinenza 247 (destra) delle schede delle pertinenze storiche del PGT di Como [4]

Le analisi condotte su Borgo Vico hanno evidenziato esiti simili alla conformazione di Sant'Agostino e di porta torre: presenta una fascia di ville panoramiche nella zona adiacente al lago ed edifici con struttura tipica del lotto gotico in dell'arteria commerciale secondaria di via borgo vico; per quanto riguarda gli insediamenti che si presentano arretrati rispetto al fronte costituito da ville, la tipologia edilizia rinvenibile è invece quelle di un'edilizia episodica, priva di un'organizzazione univoca e riconoscibile [4].



Figura 2.26 Ortofoto significativa delle ville sorte in prossimità del lago estratta dal PGT di Como [4]



Figura 2.27 Immagine evocativa della tipologia a villa in prossimità del lago – pertinenza 110 delle schede delle pertinenze storiche del PGT di Como [4]



Figura 2.28 Ortofoto significativa delle ville sorte in prossimità di via Borgo Vico estratta dal PGT di Como [4]



Figura 2.29 Immagini evocative della tipologia sorta su lotto gotico – pertinenza 35b delle schede delle pertinenze storiche del PGT di Como [4]

Dato l'alto numero di edifici descritti dalle schede delle pertinenze storiche della convalle, non è stato possibile svolgere un'indagine dettagliata su ogni singolo immobile, ma solo su numero limitato di edifici rappresentativi selezionati a campione per ogni zona significativa del centro storico e per tipologia edilizia.

Per fornire comunque una visione d'insieme del patrimonio immobiliare dell'area 1 "nuclei storici e di antica formazione", si riportano a seguire una serie di informazioni in forma di rappresentazione cartografica. Tra le informazioni riportate vi sono sia dati riguardanti le caratteristiche generali degli edifici, come il numero di piani, la forma del lotto e lo stato di conservazione, sia caratteristiche dell'immobile legate a fattori intrinseci di pregio e significatività che potrebbero limitare la possibilità dell'integrazione degli edifici con BIPV (es.

edifici tutelati o di pregio storico-artistico).Le carte a seguire indicano le caratteristiche degli immobili, esprimendo:

- Presenza di edifici (densità edilizia);
- Tipologia prevalente;
- Numero di piani;
- Stato di conservazione dell'immobile.

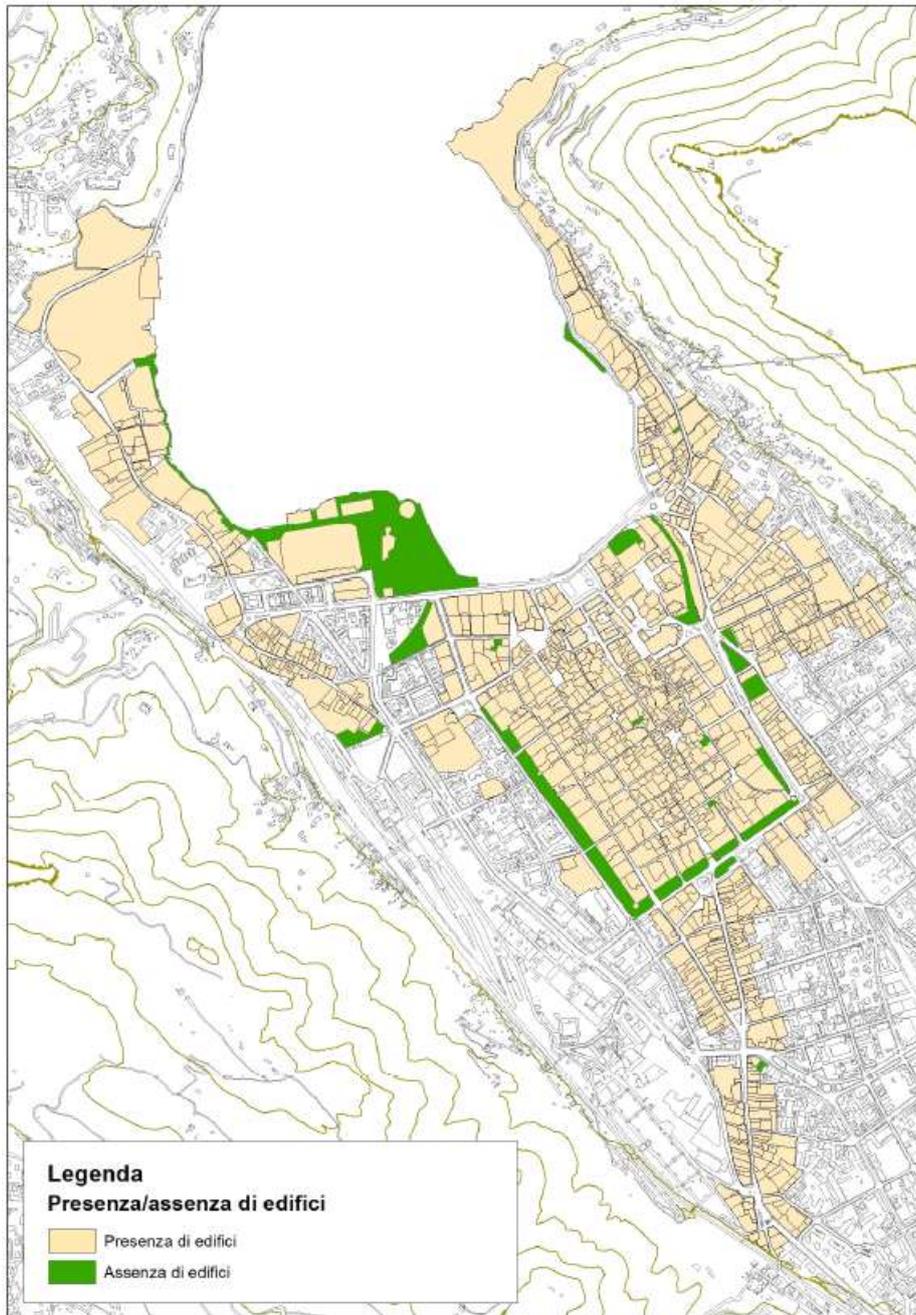


Figura 2.30 Carta della presenza/assenza di edifici nelle pertinenze interne alla convalle estratta dal PGT di Como [4]

Dalla Figura 2.30 emerge come la densità edilizia sia molto alta nell'area del centro storico, soprattutto nella zona della città murata.

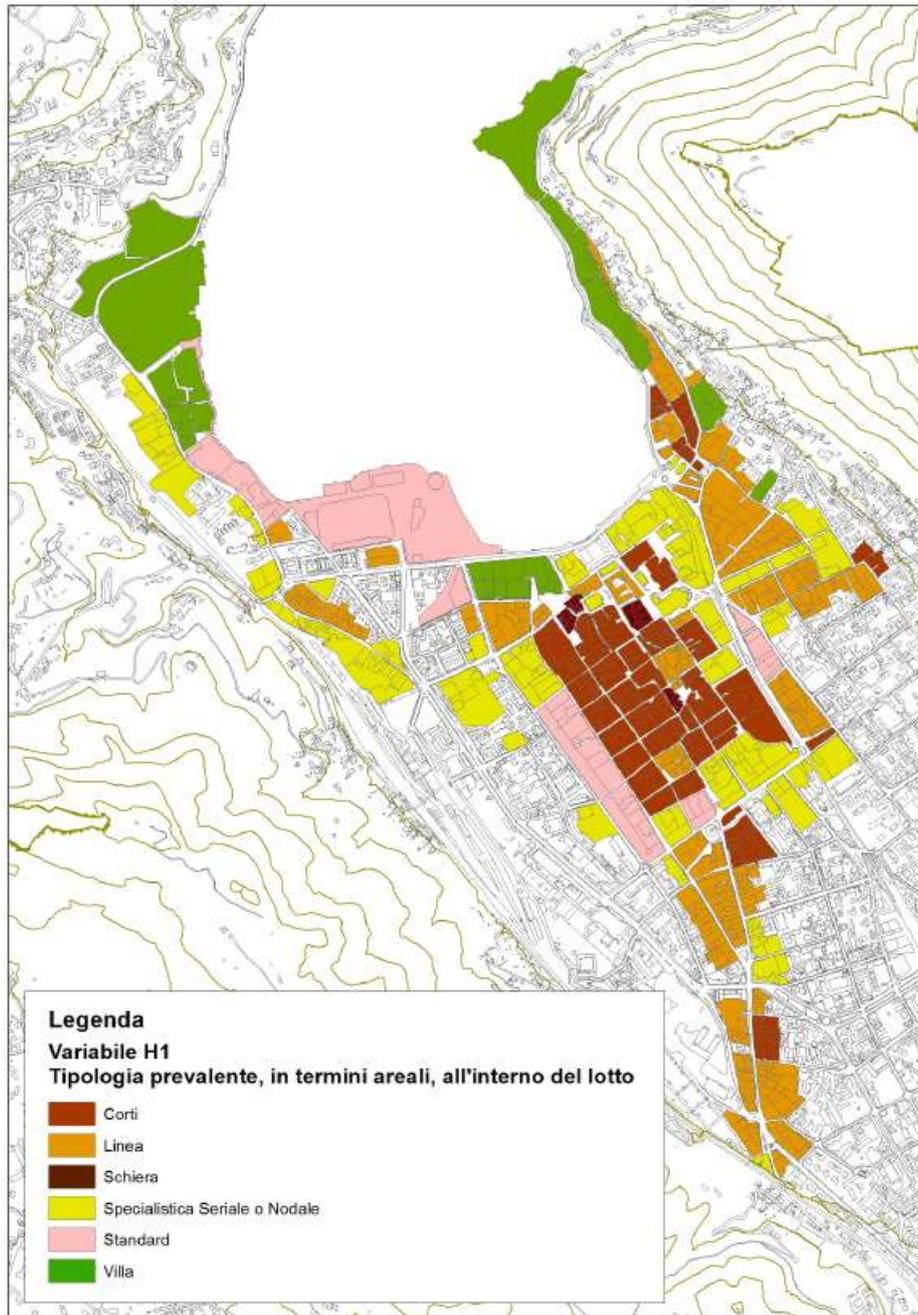


Figura 2.31 Carta della tipologia prevalente di edifici nelle pertinenze interne alla convalle estratta dal PGT di Como [4]

La Figura 2.31 mostra la distribuzione delle varie tipologie edilizie all'interno del centro, con una concentrazione delle ville nelle zone panoramiche adiacenti al lago, di palazzi a corte nel nucleo storico e di palazzi a lotto gotico lungo le principali arterie commerciali.

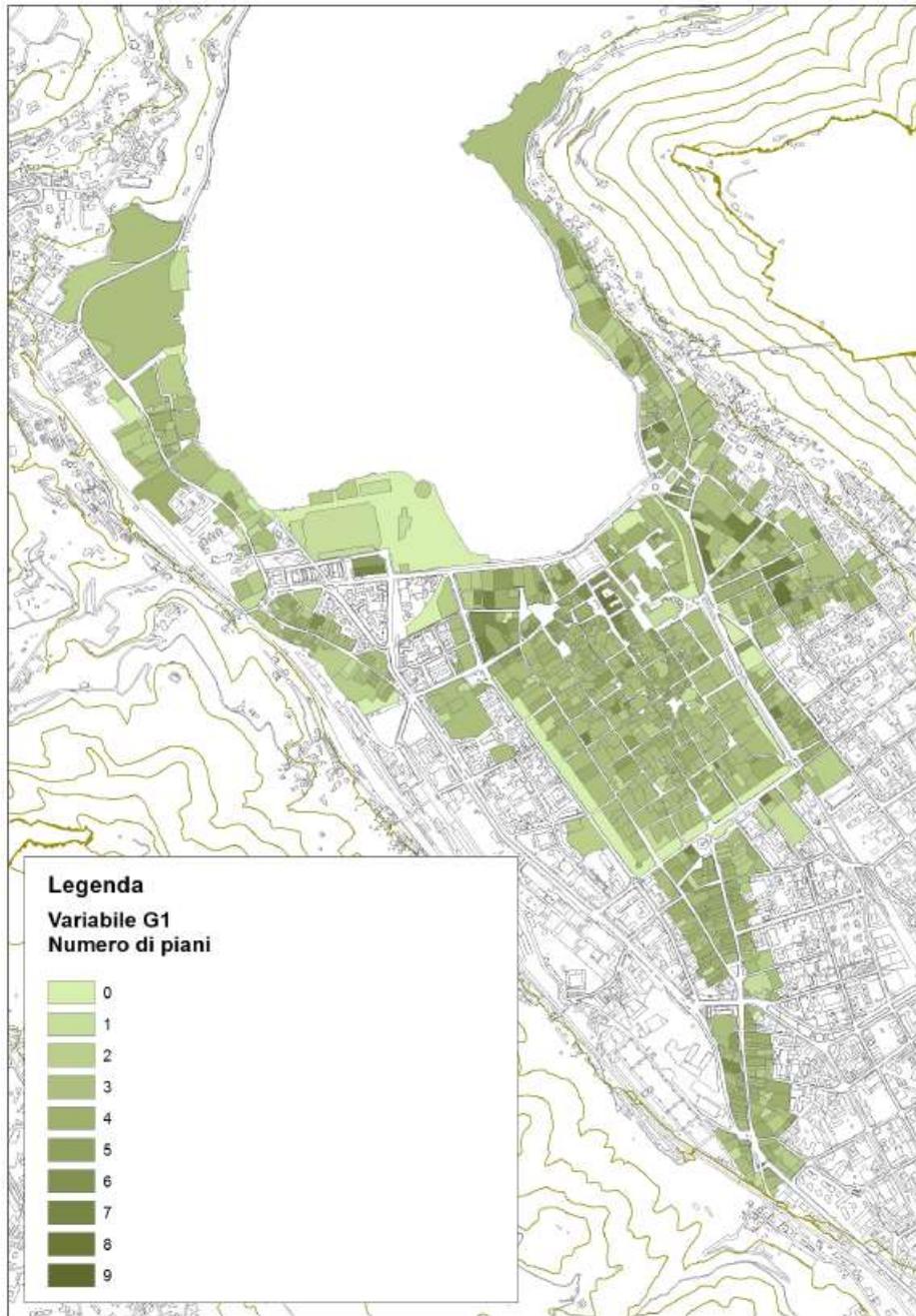


Figura 2.32 Carta del numero di piani degli edifici nelle pertinenze interne alla convalle estratta dal PGT di Como [4]

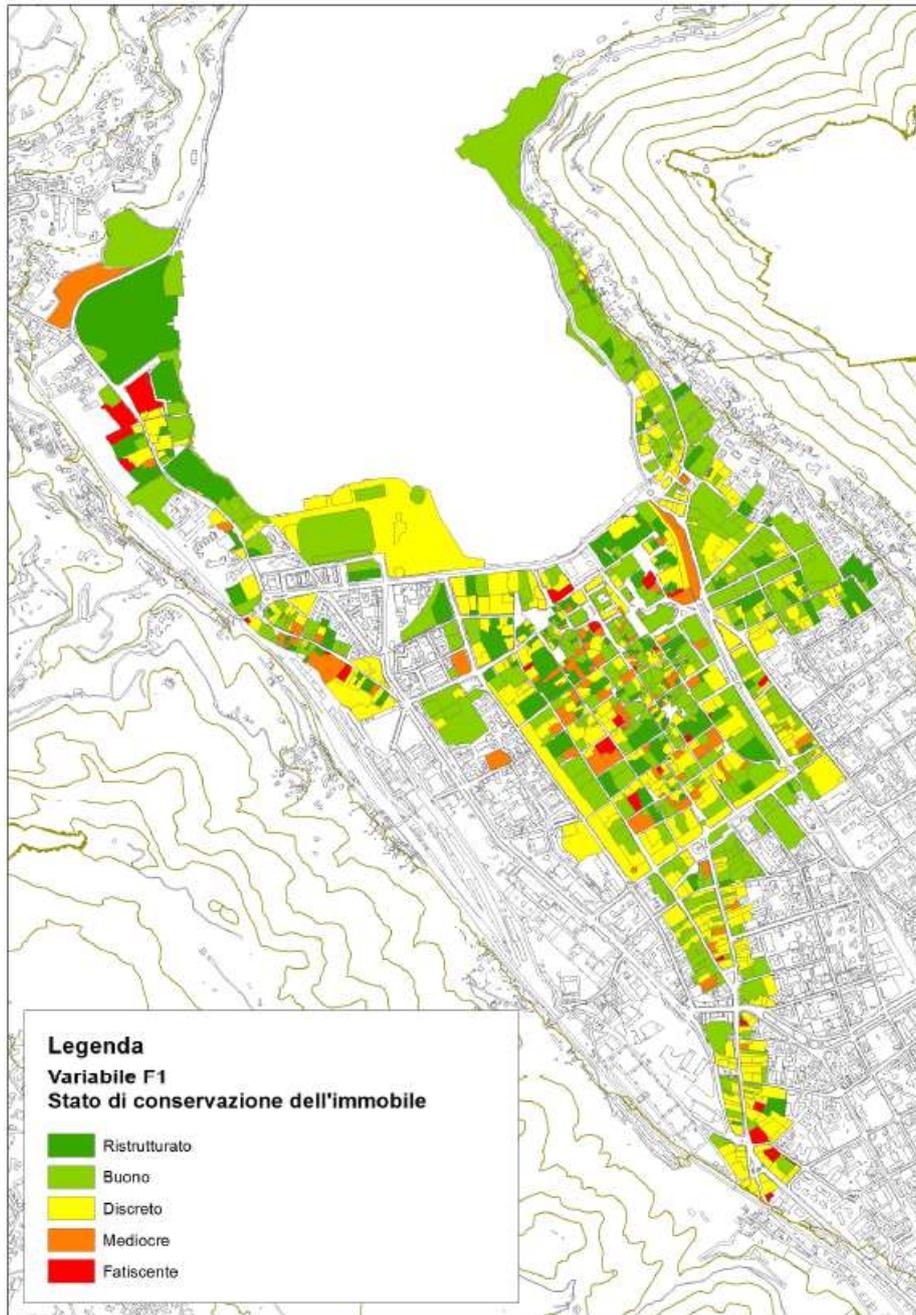


Figura 2.33 Carta dello stato di conservazione degli edifici nelle pertinenze interne alla convalle estratta dal PGT di Como [4]

Figura 2.33 mostra lo stato di conservazione degli edifici all'interno del centro storico: la maggior parte degli edifici risulta in buono e discreto stato, e solo una minoranza risulta in una condizione mediocre o fatiscente. Inoltre, sono presenti edifici che sono stati oggetto di una ristrutturazione, soprattutto all'interno della città murata dove si concentrano gli edifici più storici.

Le carte a seguire indicano la possibilità di intervento sull'edificio, esprimendo la presenza o l'assenza nell'area analizzata di:

- Tutela monumentale;
- Zona di rispetto monumentale;

- Zona di tutela ambientale;
- Edilizia qualificata;
- Facciate da salvaguardare;
- Edifici costruiti ante 1860.

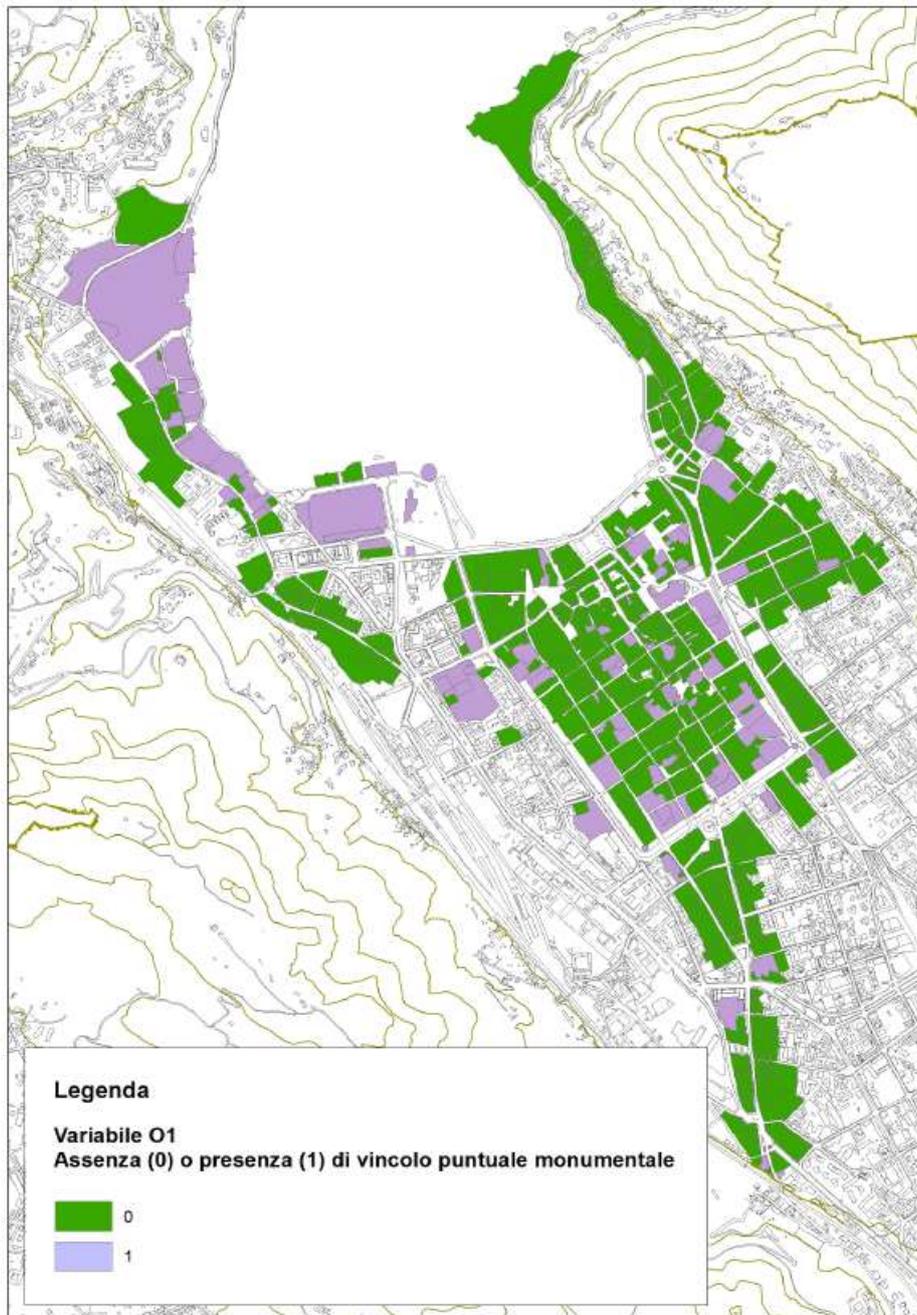


Figura 2.34 Carta della presenza/assenza di vincolo monumentale nelle pertinenze interne alla convalle estratta dal PGT di Como [4]

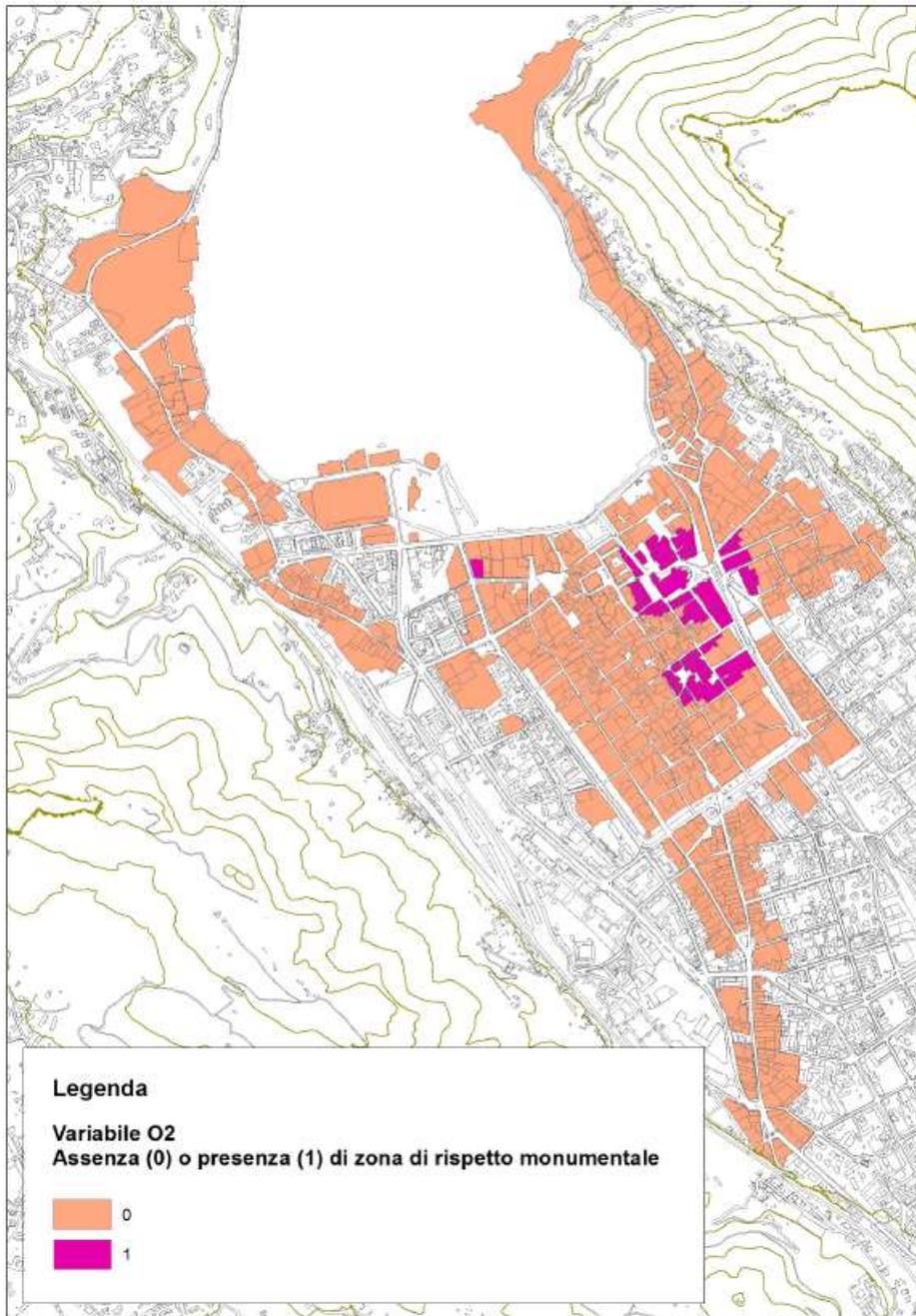


Figura 2.35 Carta della presenza/assenza di zona di rispetto monumentale nelle pertinenze interne alla convalle estratta dal PGT di Como [4]

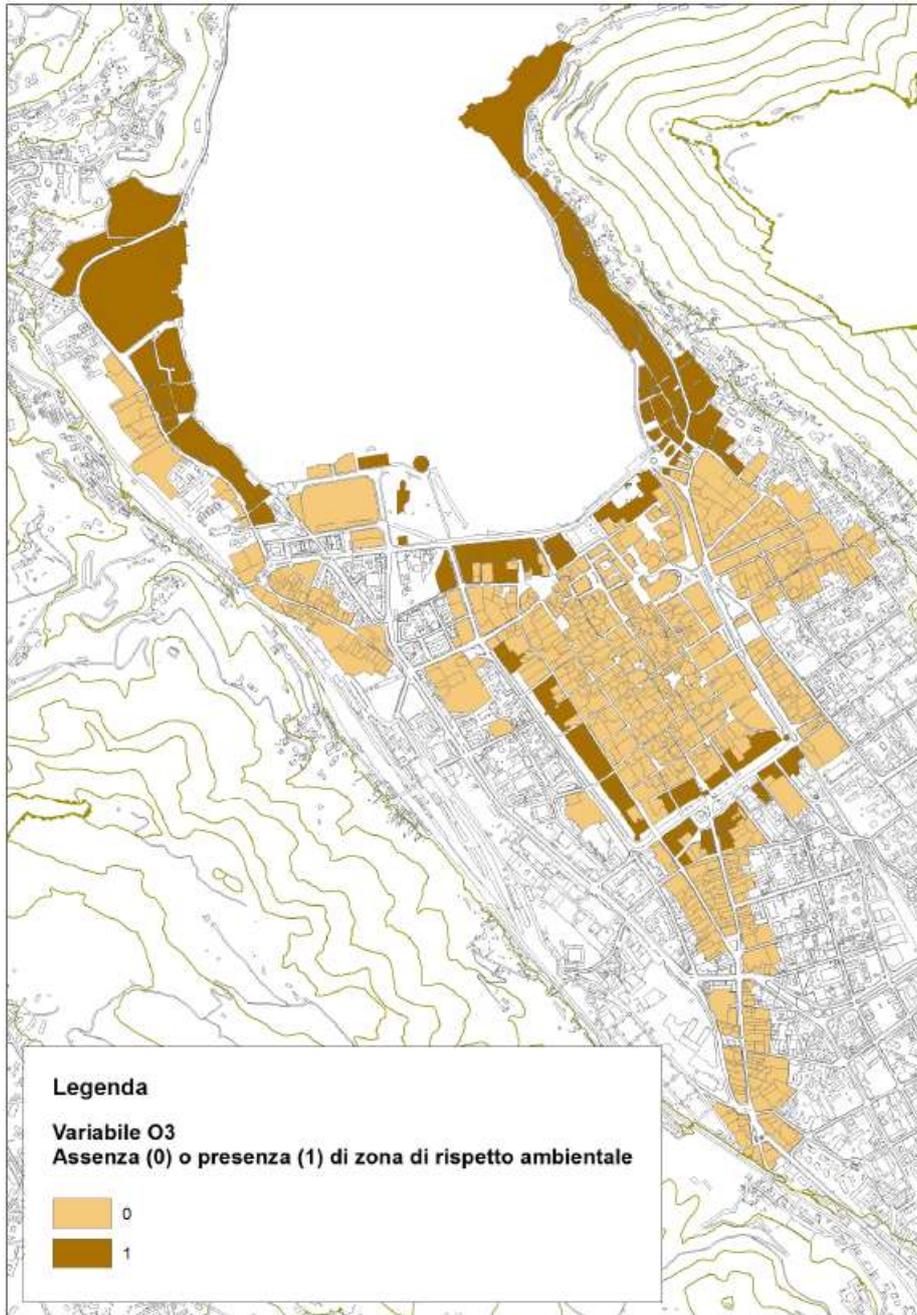


Figura 2.36 Carta della presenza/assenza di zone di rispetto ambientale nelle pertinenze interne alla convalle estratta dal PGT di Como [4]

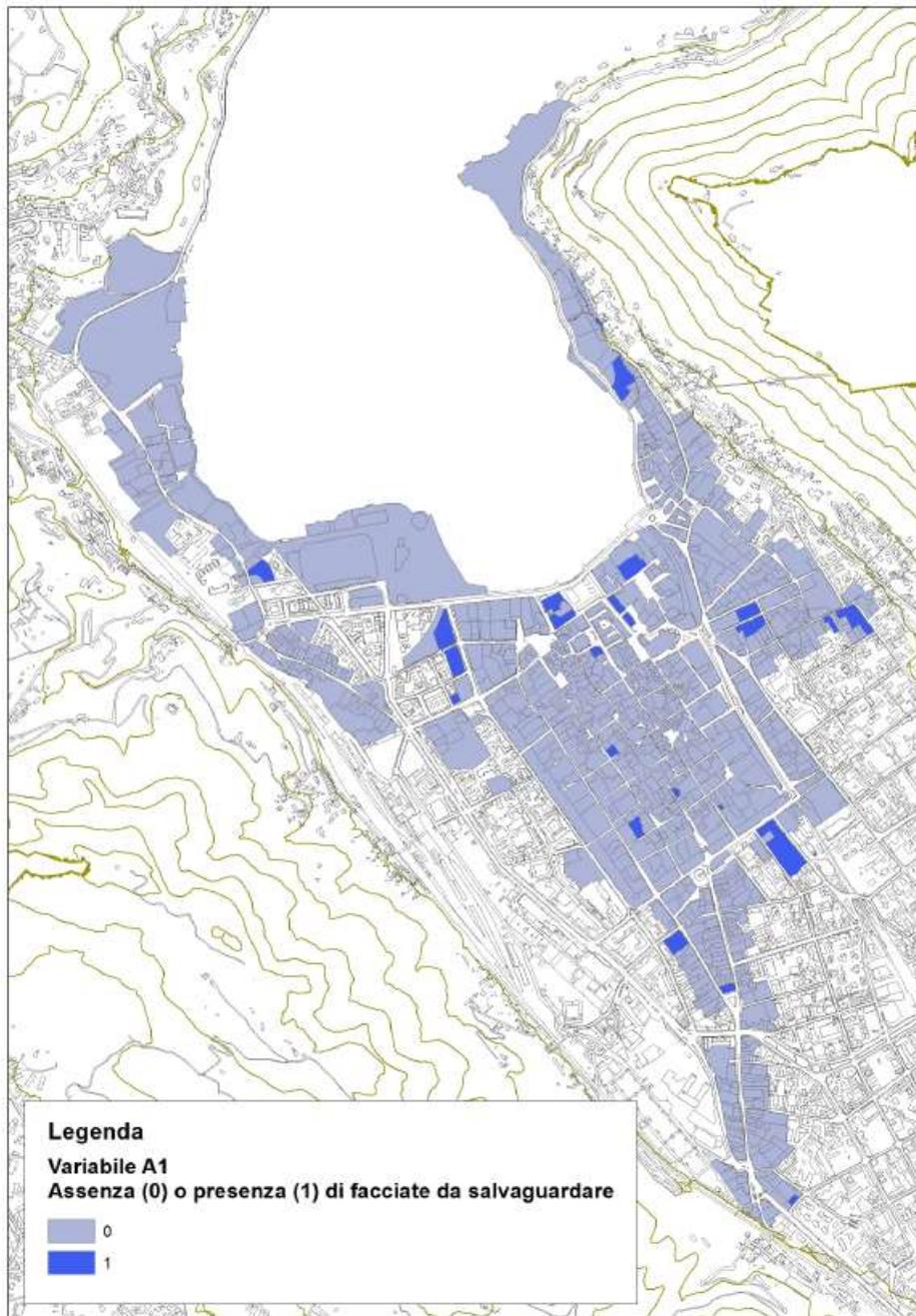


Figura 2.37 Carta della presenza/assenza di facciate da salvaguardare nelle pertinenze interne alla convalle estratta dal PGT di Como [4]

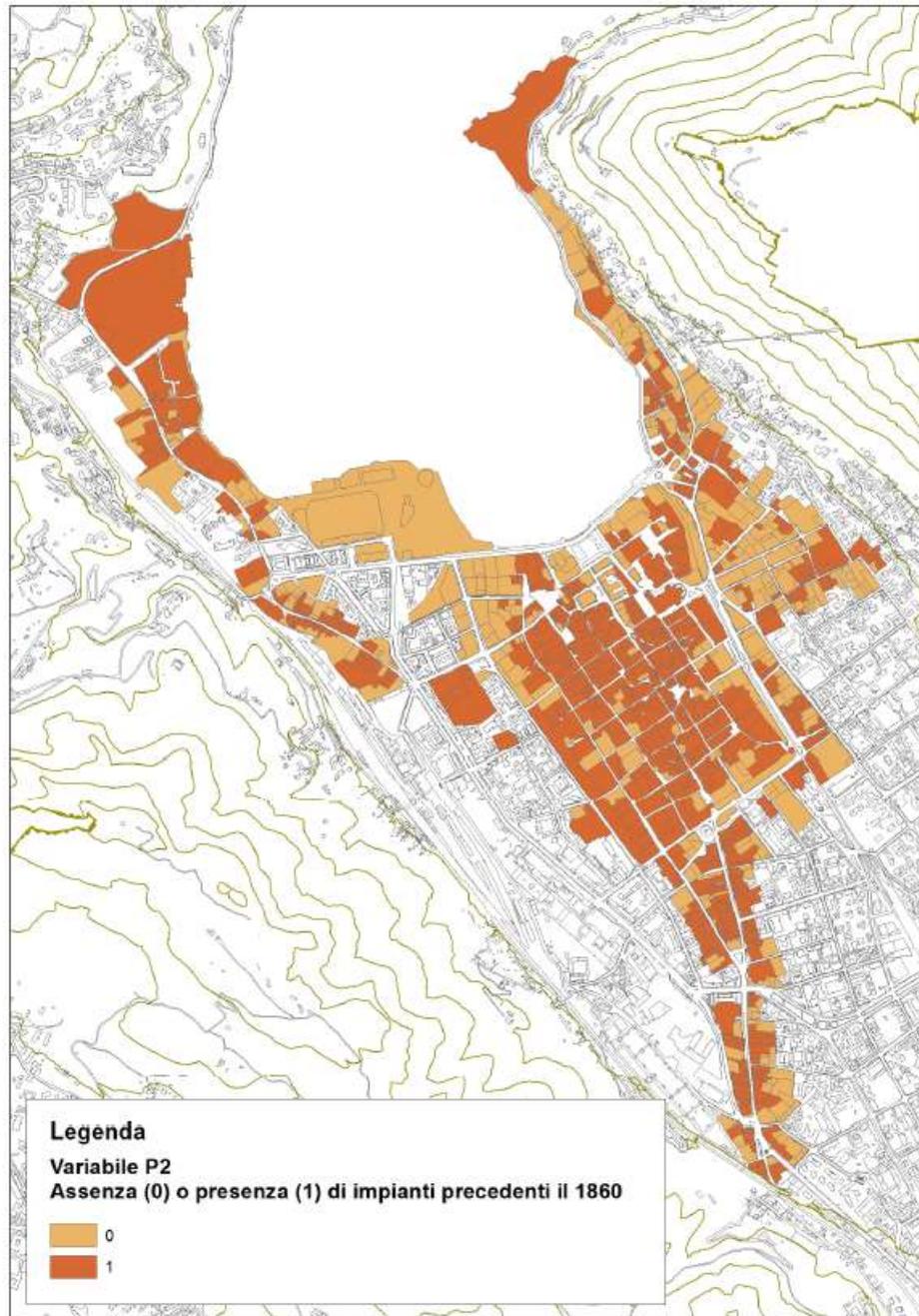


Figura 2.38 Carta della presenza/assenza di impianti precedenti al 1860 nelle pertinenze interne alla convalle estratta dal PGT di Como [4]

Dalle carte emerge come la maggior parte degli edifici presenti all'interno dell'area "Nuclei storici e di antica formazione" selezionata risulti soggetto a tutela monumentale/ambientale o sia un impianto antecedente al 1860 (Figura 2.34, Figura 2.35, Figura 2.36, Figura 2.37, e Figura 2.38). Queste condizioni implicano limitazioni di grado differente sull'edificio e, a seconda del tipo di tutela presente, saranno consentiti interventi diversi.

Risulta quindi molto utile la carta delle unità di minimo intervento, che rappresenta la propensione alla trasformazione degli immobili della convalle.

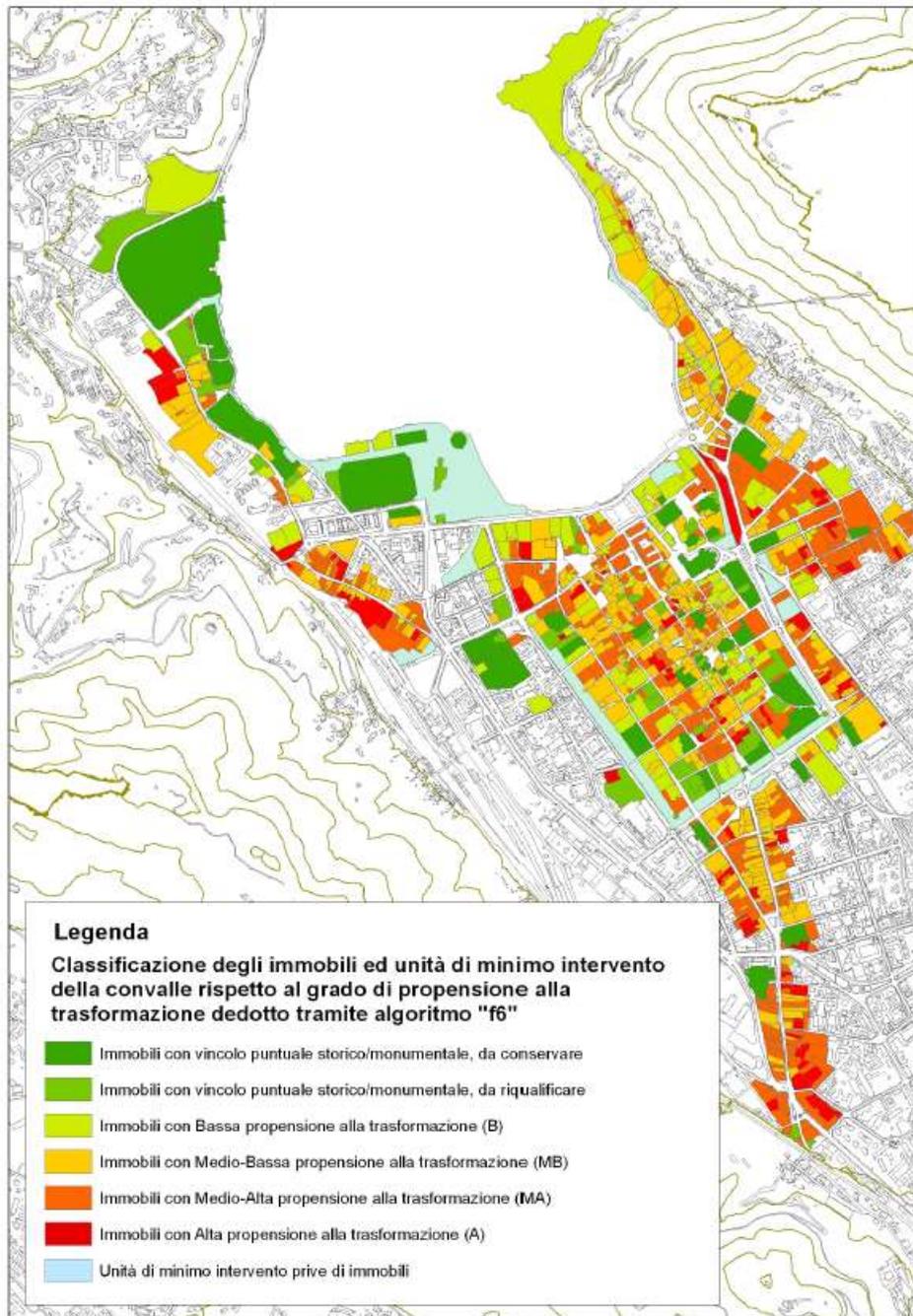


Figura 2.39 Carta della carta delle unità di minimo intervento delle pertinenze interne alla convalle estratta dal PGT di Como [4]

Dall'esame della carta emerge che il picco è registrato da immobili con medio/bassa e medio/alta propensione a mantenersi, con il 70% delle unità totali, sembra quindi che la zona sia vocata a trasformazioni consistenti, sebbene non totali come quelle riservate agli immobili a elevata propensione (10% di scenario); invece, gli immobili sottoposti a vincoli storico/monumentali risultano ripartiti tra un 6% per cui lo stato di conservazione appare ottimale e un 6% per cui appaiono necessari o consigliabili interventi di conservazione e restauro (Figura 2.40) [4].

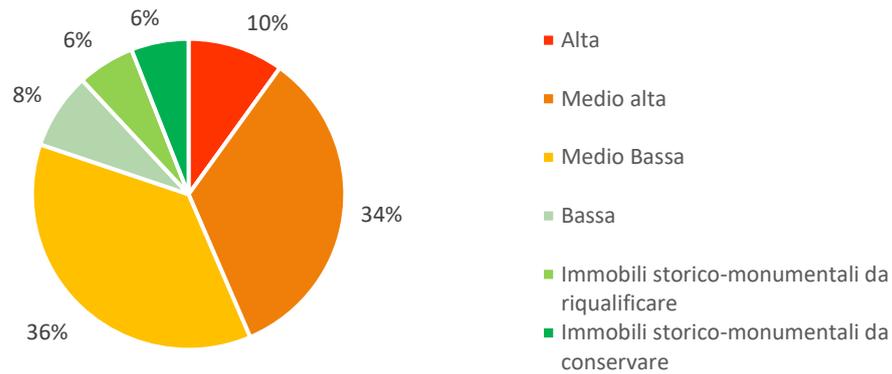


Figura 2.40 Ripartizione degli immobili sulle 6 classi definite per attitudine alla trasformazione (f6) estratta dal PGT di Como [4]

Le sei classi d'attitudine alla trasformazione, prima ottenute, vengono ricondotte a cinque tipologie sintetiche riportate in Tabella 2.5 e nella carta dell'intervenibilità nelle pertinenze interne alla convalle (Figura 2.41).

Attitudine alla trasformazione	Intervenibilità	Interventi	Tipologie di intervento
Alta	Intervenibilità elevata	Interventi consentiti fino alla sostituzione totale degli immobili	T5 - Riqualficazione urbanistica
Medio/alta	Intervenibilità medio/alta	Interventi consentiti fino alla sostituzione parziale degli immobili	T4 – Riqualficazione architettonica
Medio/bassa	Intervenibilità medio/bassa	Interventi consentiti fino al rinnovo, senza demolizione e ricostruzione, degli immobili	T3 – Rinnovo
Bassa	Intervenibilità limitata	Interventi consentiti fino al ripristino parziale o totale delle condizioni originarie degli immobili	T2 – Ripristino
Immobili storico monumentali da riqualificare	Intervenibilità estremamente limitata	Interventi limitati alla conservazione e al restauro degli immobili vincolati di pregio storico e monumentale	T1 – Consolidamento
Immobili storico monumentali da conservare			

Tabella 2.5 Tipologie di intervenibilità delle pertinenze interne alla convalle estratta dal PGT di Como [4]

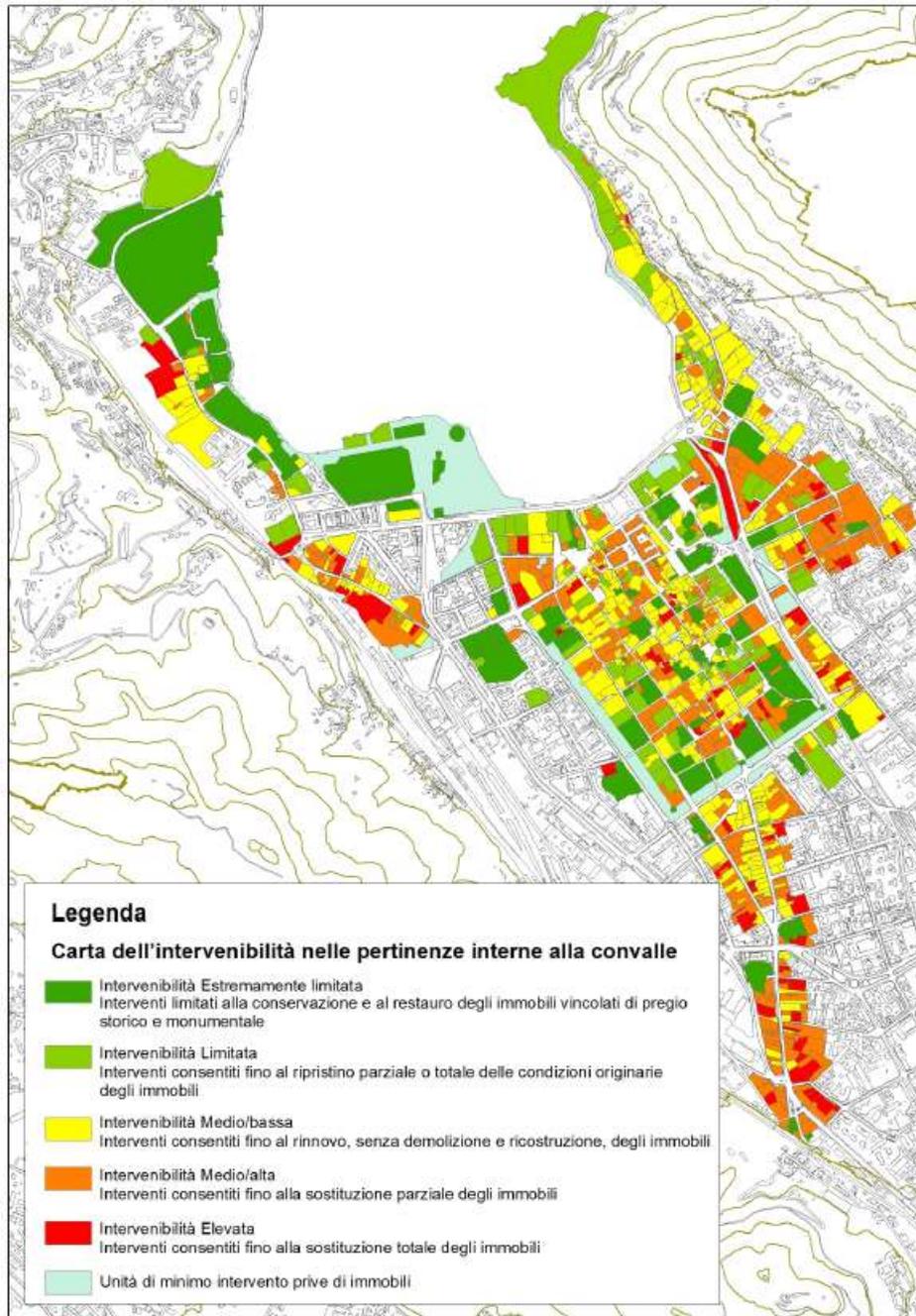


Figura 2.41 Carta dell'intervenibilità nelle pertinenze interne alla convalle estratta dal PGT di Como [4]

Si rileva quindi una potenzialità di intervento e riqualificazione degli edifici del centro storico di Como con BIPV, fatta eccezione per le ville e dei palazzi soggetti a tutela monumentale, sui quali le possibilità di intervento sono estremamente basse e limitate. Tuttavia dall'analisi degli immobili consultabile dalle schede delle pertinenze storiche della convalle del PGT di Como è emerso come, su un complesso di 134 immobili di valore storico/monumentale d'elevato pregio, espressamente vincolati, circa il 35% è portatore di necessità di riqualificazione/valorizzazione architettonica e funzionale.

2.3.3 Asilo

Dall'analisi delle schede SIRBeC, consultabili sul sito "Lombardia beni culturali", è emerso che all'interno della provincia Como sono diffusi asili caratterizzati da un'architettura razionalista [7]. L'architettura razionalista risulta particolarmente interessante per l'applicazione di BIPV, poiché è generalmente caratterizzata da forme regolari, con coperture piane e gabbie in cemento armato che incorniciano grandi superfici vetrate. Nell'area interna alla convalle un esempio di questa tipologia edilizia è dato dall'asilo sant'Elia, edificio di particolare pregio storico-monumentale ideato da Giuseppe Terragni (Figura 2.42).



Figura 2.42 Immagini evocative della tipologia di asilo razionalista estratto dal PGT di Como [4]

2.3.4 Ville con Parco

Le zone con un'ampia veduta panoramica sono state caratterizzate fin dal Rinascimento dalla presenza di ville suburbane e, tra il '700 e l'800, diventano la meta prescelta di villeggiatura. Tra questi luoghi vi è anche il Parco Spina Verde, nel quale ricade il 13% delle ville presenti nel comune di Como.

Queste ville di pregio storico – architettonico si caratterizzano nel duplice aspetto di residenze connesse con le attività agricole e residenze di pregio panoramico e climatico nella porzione affacciata verso il lago e la città. Questa tipologia edilizia, a differenza della tipologia "ville" tipica del centro storico, è caratterizzata dalla presenza di ampi parchi e giardini (Figura 2.43).



Figura 2.43 Immagini evocative della tipologia ville con Parco estratta dal PTC del Parco Spina Verde [8] [8]

Le ville del Parco Spina Verde, oltre ad essere individuate dal PGT di Como, sono censite nel Piano di Settore “Ville con Parco” del Parco Spina Verde, che analizza le ville e parchi di interesse storico, artistico e ambientale situate all’interno del Parco regionale [8].

Tra le ville con Parco individuate all’interno del Parco Spina Verde, solo Villa Giovio è soggetta a tutela monumentale, mentre le restanti sono soggette alla sola tutela paesaggistica [4].

Gli elementi riconosciuti all’interno della categoria in esame nel PGT di Como e nel PTC del Parco regionale Spina Verde sono riportati in Tabella 2.6 [8].

Ville con Parco individuate dal PGT di Como		Ville con Parco tutelate dal Ptc del Parco Spina Verde	
32	Villa Eros		X
33	Villa Adelaide		X
34	Villa Maderni		X
39	Villa Camporino		X
42	Villa Monte Caprino		X
38	Villa Bianchi		X
40	Villa Centari Nosedà		X
122	Villa Giovio		X
			Villa Valle Vico
			Villa il Torchio
			Villa Moncucco
			Villa Prelio
			Villa Colombiolo
			Villa Colombirolino
			Villa Archinto

Tabella 2.6 elementi riconosciuti all’interno della categoria in esame nel PGT di Como e nel PTC del Parco regionale Spina Verde [4, 8]



Figura 2.44 Distribuzione dei luoghi della civiltà contadina estratta dal DDP del PGT del comune di Como (sinistra) e rielaborata in Google Earth (destra) [4]



Figura 2.45 Immagini evocative della tipologia villa con Parco – villa Nosedà estratta dal PTC del Parco regionale Spina Verde [8]

2.3.5 Cascine

Sino a qualche decennio fa il paesaggio era caratterizzato anche dalla presenza di edifici rurali, caschine e casolari, tal volta soluzioni a metà tra la casa di villeggiatura e l'azienda agricola. Proprio per questa ambivalenza la cascina è una tipologia edilizia tipica sia dell'area 2 "Parco regionale", che dell'area 3 "area rurale".

Oggi tali elementi sono presenti in numero ridotto o vertono in condizioni precarie: le caschine isolate individuabili sul territorio comasco relativamente alla soglia storica del 1888, sono non

oltre una quarantina. Sebbene la maggior parte di questi edifici abbia perso la sua funzione originaria e, in genere, sia stata inglobata nel tessuto urbanizzato ed ha trovato utilizzo come edificio residenziale, è ancora possibile osservarne i caratteri originali, quali ad esempio la tipologia a corte, la presenza di logge, l'uso del mattone come materiale predominante. Solo una piccola parte delle cascine "storiche" è tuttora adibita a sede di azienda agricola [4].

Dall'analisi del PTC del Parco regionale della Spina Verde nella parte del Comune di Como, è emerso che il Parco è un'area significativa per la tipologia cascina, sia con caratteristiche rurali che con caratteristiche di villeggiatura [8]. Questo è avvalorato dal PGT di Como, secondo cui "la maggior parte dei luoghi della civiltà contadina, ovvero quei siti in cui si riscontrano le permanenze della storia rurale del territorio, come testimonianza delle attività agricole e delle sue forme di conduzione, sono localizzati all'interno del Parco regionale Spina Verde (circa il 63%) e in minore parte lungo l'asta fluviale del torrente Cosia (sistema dei mulini)" [4].



Figura 2.46 Distribuzione dei luoghi della civiltà contadina estratta dal DDP del PGT del comune di Como (sinistra) e rielaborata in Google Earth (destra) [4]

Le cascine individuate all'interno del Parco Spina Verde sono tutte soggette a tutela paesaggistica e nessuna è soggetta a tutela monumentale.

Gli elementi riconosciuti all'interno della categoria in esame nel PGT di Como e nel PTC del Parco regionale Spina Verde sono riportati Tabella 2.10 [8].

Cascine individuate dal PGT di Como		Cascine tutelate dal Ptc del Parco Spina Verde
35	Cascina Bronno	X
41	Cascina al Torchio	X
44	Cascina Cardano - viola	X
45	Cascina Terra Mara	X
46	Cascina Maria	X
47	Cascina ca matta	
49	Cascina Costa San Fermo	X

43	Cascina Galbina	X
50	Cascina La Parasciola	X
51	Cascina Ronco	X
52	Cascina Selva fiorita	X
53	Cascina sant Eustacchio	
54	Respäü di sopra	X
55	Respäü di sotto	X
57	Ul Ginöc	

Tabella 2.7 elementi riconosciuti all'interno della categoria in esame nel PGT di Como e nel PTC del Parco regionale Spina Verde [4, 8]

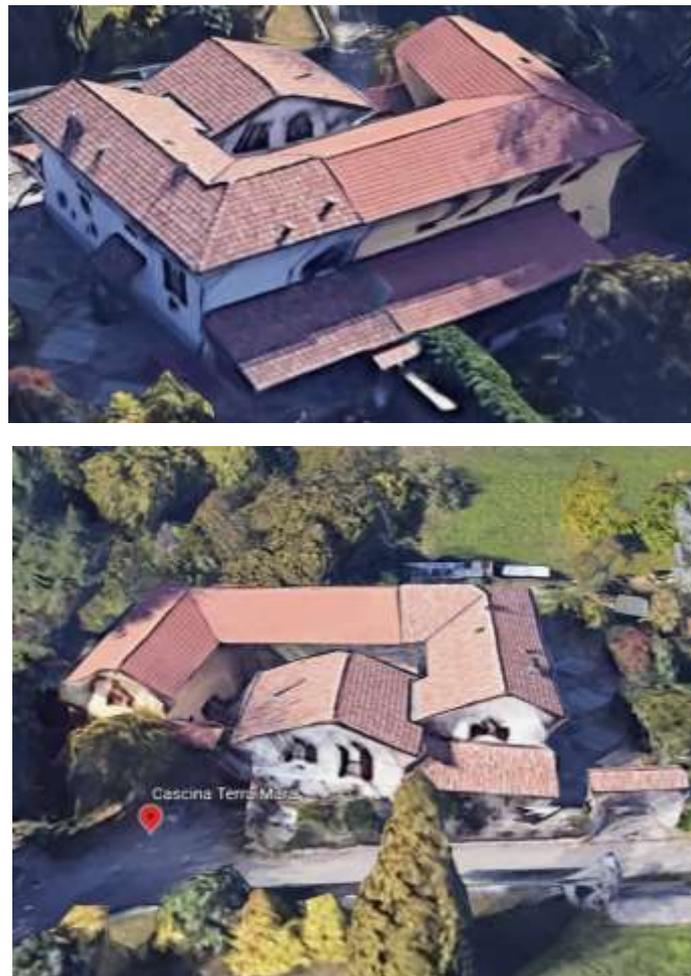


Figura 2.47 Immagini evocative della tipologia edilizia della cascina – Estratto Google Earth della Cascina Terramara [4]

2.3.6 I Mulini

Dall'analisi delle schede SIRBeC è emerso che all'interno del territorio comasco sono diffusi i mulini, usati in passato per macinare il grano, identificati come edifici produttivi dalle stesse schede [7]. Nella zona del torrente Cosia a Como, in passato erano presenti ben 9 mulini (Tabella 2.8, Figura 2.48), che sono stati gradualmente integrati nel conglomerato urbano circostante nel tempo. Fino a poco dopo la fine della Seconda guerra mondiale, nella zona di Camnago Volta, erano in funzione ancora cinque mulini: mulino Longatti, mulino Trombetta, mulino Navedano, mulino Arcellaschi e mulino Beretta detto Maestro. Molti di questi mulini

sono scomparsi negli anni 50, ed il Mulino Beretta (Figura 2.49), seppur non più in funzione dagli anni 80, è l'unico ad aver mantenuto la struttura originaria.

Questa tipologia edilizia è generalmente soggetta a tutela, in quanto localizzati nella fascia di rispetto dei corsi d'acqua.

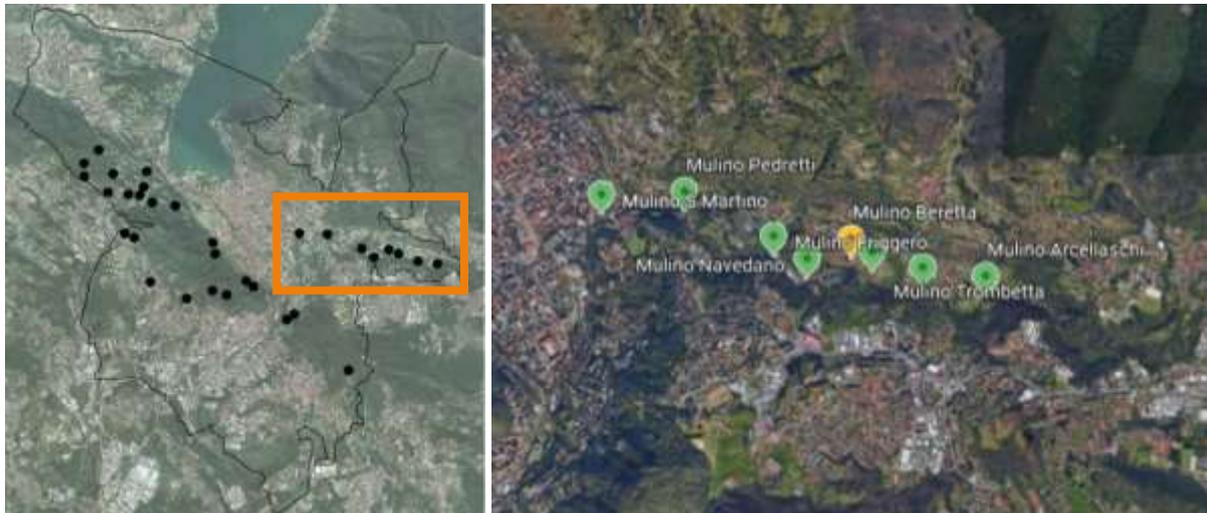


Figura 2.48 Distribuzione dei mulini estratta dal DDP del PGT del comune di Como (sinistra) e rielaborata in Google Earth (destra) [4]

Mulini individuati dal PGT di Como		Stato
226	Mulino terreni san Martino	Caratteri tipologici persi
227	Mulino Pedretti	Caratteri tipologici persi
228	Mulino frigerio	Caratteri tipologici persi
229	Mulino Navedano	Caratteri tipologici persi
230	Mulino Beretta	Caratteri tipologici mantenuti
231	Mulino Trombetta	Caratteri tipologici persi
232	Mulino Longatti	Caratteri tipologici persi
233	Mulino Arcellaschi	Caratteri tipologici persi

Tabella 2.8 elementi riconosciuti all'interno della categoria in esame nel PGT di Como [4]



Figura 2.49 Immagini evocative della tipologia edilizia del mulino – Estratto Google Earth del mulino Beretta

2.3.7 Edifici Produttivi

Nella categoria edifici produttivi rientrano sia quegli edifici di valore storico, testimonianze degli insediamenti industriali del passato, sia gli edifici produttivi che pur non avendo un valore storico artistico si prestano molto bene all'applicazione di BIPV poiché sono generalmente caratterizzati da forme regolari, coperture piane e grandi superfici vetrate. Inoltre, molti edifici industriali dismessi o degradati sono siti in zone classificate come ambiti strategici di riqualificazione urbana e pertanto si prestano a progetti di ristrutturazione e rigenerazione. Come ha conosciuto in un recente passato un considerevole ridimensionamento dell'attività produttiva che, da sempre, ha contraddistinto il territorio lariano. Risulta pertanto particolarmente strategico per il comune di Como recuperare/riappropriarsi di tutte quelle aree dismesse e ricche di potenziale per colmare una serie di vuoti funzionali e concettuali. L'elenco degli edifici produttivi nelle aree dismesse è consultabile dal PGT di Como [4].

Si riconoscono in questa tipologia fornaci, filande, cartiere, centrali termiche, cave, lanifici ed altri. La tipologia dell'edificio varia a seconda del tipo di attività insediata, anche se costantemente si ripetono le caratteristiche di grandi volumi semplici di due o più piani con finestre centinate e tetto piano o a capanna.

Il PGT di Como identifica inoltre le testimonianze storiche degli insediamenti industriali locali come luoghi della civiltà industriale. Questi si trovano lungo il torrente Cosia, a Camerlata, ad Albate e lungo il fiume Breggia. Parte considerevole del tessuto produttivo è stato trasformato negli ultimi 15 anni, pertanto complessivamente i luoghi della civiltà industriale di valore storico oggi registrano una bassa incidenza [4].

Tra gli elementi riconosciuti come testimonianze storiche di edifici produttivi dal PGT e selezionati per l'analisi vi sono:

Testimonianze storiche degli insediamenti industriali individuate dal PGT di Como	
30	Ex Centrale termica della Tintoria Comense "Santarella" – area Ex Ticosa
110	Palazzina ex Fisac di Camerlata
111	Ex Fornace di via Pannilani

Tabella 2.9 elementi riconosciuti all'interno della categoria in esame nel PGT di Como [4]

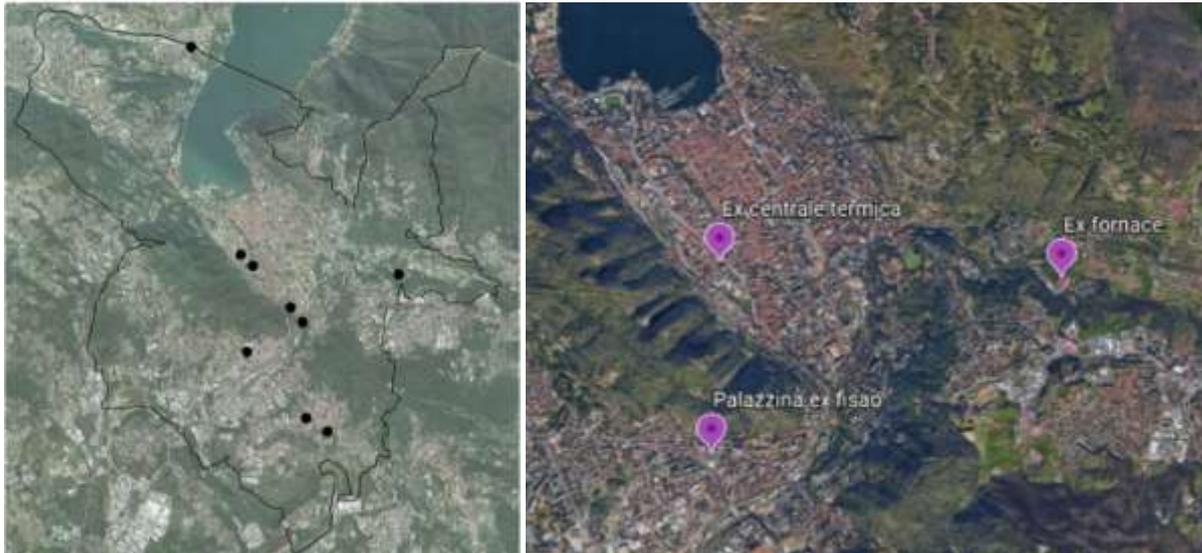


Figura 2.50 Distribuzione degli edifici produttivi di valore storico estratta dal DDP del PGT del comune di Como (sinistra) e rielaborata in Google Earth (destra) [4]

Tra questi sono stati individuati sia edifici soggetti a tutela monumentale (ex centrale termica) e tutela paesaggistica (ex fornace), che edifici privi di tutela storico-artistica o paesaggistica.



Figura 2.51 Immagini evocative della tipologia edilizia dell'edificio produttivo – Estratto Google Earth e dal PGT di Como dell'ex centrale termica "santarella" dell'area Ex Ticosa [4]

2.3.8 Edifici residenziali

Sotto questa definizione, volutamente generica, vengono classificati tutti gli edifici senza pregio storico artistico, come edifici multifamiliari e blocchi di appartamenti che non presentano caratterizzazione univoca da un punto di vista formale, analizzati e classificati in modo completo dal database TABULA.

2.4 CREAZIONE DEL DATABASE

Identificate le diverse tipologie edilizie presenti nelle aree, si è proceduto all'analisi di un numero campione di edifici per ogni categoria, cercando di individuare ricorrenze morfologiche e tipologiche negli immobili. Si è quindi creato un database con tutte le informazioni raccolte.

2.4.1 Informazioni associate al database

Una volta stabilite le tipologie edilizie rappresentative dell'area di studio, i seguenti parametri sono analizzati ed associati ad ogni tipologia:

- tipologia costruttiva;
- epoca storica;
- presenza di tutele;
- stato di conservazione;
- densità abitativa;
- altezza;
- copertura;
- materiali;
- elementi in facciata.

È stato creato un database contenente le informazioni per ogni edificio indagato per le seguenti tipologie edilizie individuate: villa, palazzo, asilo, cascina, villa con Parco, mulini ed edifici produttivi. Per le categorie edifici multifamiliari e blocchi di appartamenti si rimanda invece al database esistente "TABULA web tool" [6], che a seconda della zona e del periodo storico, fornisce una serie di esempi delle tipologie edilizie esistenti, visibile in Figura 2.52.

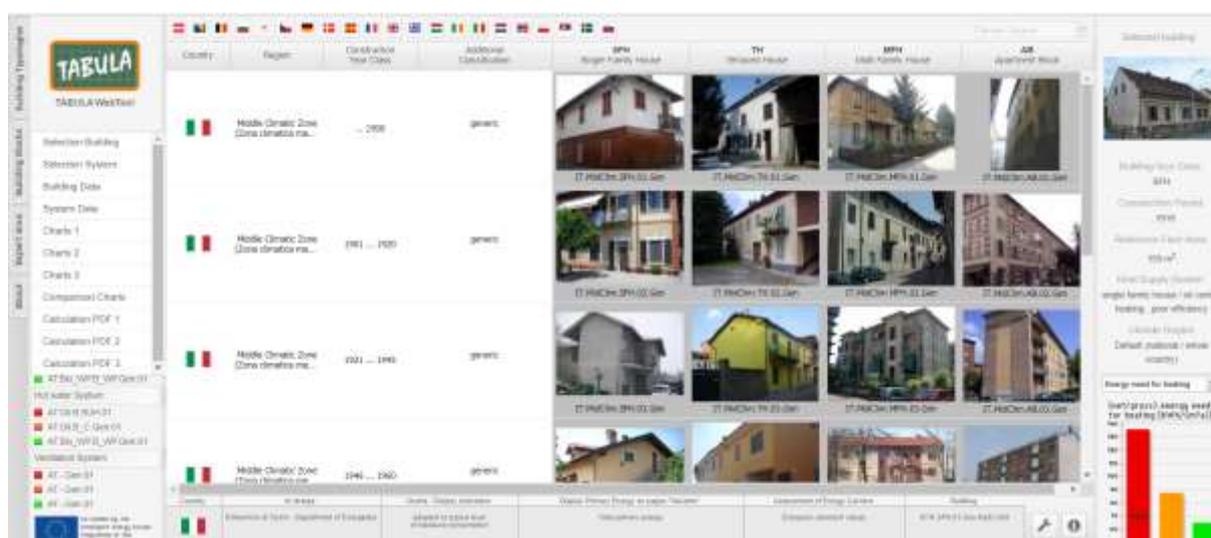


Figura 2.52 Immagine del web tool TABULA [6]

Si riportano di seguito una serie di tabelle che mostrano alcuni degli edifici analizzati ed inseriti nel database, a titolo esemplificativo delle informazioni estrapolate e dell'analisi svolta a livello dei singoli edifici.

Asilo Sant' Elia

ASILO	Area	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
	Tutela	Monumentale Art 10	Paesaggistica Art 142	Interesse Pub. Art 136	Nessuna
	Epoca	1937			n.d.
	Stato	Pessimo	Mediocre	Buono	n.d.
	Altezza	1 piano	2/3 piani	> 3 piani	n.d.
	Copertura	Coppi	Tegole	Bitume	Altro
		2 falde	>2 falde	piana	Altro
	Funzione	Residenziale	Pubblica	Commerciale	Dismesso
		Produttiva	Agricola	Turistica	n.d.
Fonti	PGT, SIRBEC				



Tabella 2.10 Analisi Tipologia edilizia Asilo

Pertinenza Sant' Agostino 185a PGT					
PALAZZO	Area	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
	Tutela	Monumentale Art 10	Paesaggistica Art 142	Interesse Pub. Art 136	Nessuna
	Epoca	1760-1860			n.d.
	Stato	Pessimo	Mediocre	Buono	n.d.
	Altezza	1 piano	2/3 piani	> 3 piani	n.d.
	Copertura	Coppi	Tegole	Bitume	Altro
		2 falde	>2 falde	piana	Altro
	Funzione	Residenziale	Pubblica	Commerciale	Dismesso
		Produttiva	Agricola	Turistica	n.d.
Fonti	PGT, DBTR				



Tabella 2.11 Analisi Tipologia edilizia Palazzo

Villa sant'Agostino - Pertinenza 021 PGT					
VILLA	Area	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
	Tutela	Monumentale Art 10	Paesaggistica Art 142	Interesse Pub. Art 136	Nessuna
	Epoca	1760-1860			n.d.
	Stato	Pessimo	Mediocre	Buono	n.d.
	Altezza	1 piano	2/3 piani	> 3 piani	n.d.
	Copertura	Coppi	Tegole	Bitume	Altro
		2 falde	>2 falde	piana	Altro
	Funzione	Residenziale	Pubblica	Commerciale	Dismesso
		Produttiva	Agricola	Turistica	n.d.
Fonti	PGT, DBTR				







Tabella 2.12 Analisi Tipologia edilizia Villa

Villa Maderni					
VILLA CON PARCO	Area	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
	Tutela	Monumentale Art 10	Paesaggistica Art 142	Interesse Pub. Art 136	Nessuna
	Epoca	-			n.d.
	Stato	Pessimo	Mediocre	Buono	n.d.
	Altezza	1 piano	2/3 piani	> 3 piani	n.d.
	Copertura	Coppi	Tegole	Bitume	Altro
		2 falde	>2 falde	piana	Altro
	Funzione	Residenziale	Pubblica	Commerciale	Dismesso
Produttiva		Agricola	Turistica	n.d.	
Fonti	PGT, DBTR, Piano di settore Parco Spina verde (Ville con Parco)				







Tabella 2.13 Analisi Tipologia edilizia Villa con parco

Cascina Terramara					
CASCINA	Area	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
	Tutela	Monumentale Art 10	Paesaggistica Art 142	Interesse Pub. Art 136	Nessuna
	Epoca	Ante 1988			n.d.
	Stato	Pessimo	Mediocre	Buono	n.d.
	Altezza	1 piano	2/3 piani	> 3 piani	n.d.
	Copertura	Coppi	Tegole	Bitume	Altro
		2 falde	>2 falde	piana	Altro
	Funzione	Residenziale	Pubblica	Commerciale	Dismesso
		Produttiva	Agricola	Turistica	n.d.
Fonti	PGT, DBTR, Piano di settore Parco Spina verde (Utilizzo delle aree agricole)				






Tabella 2.14 Analisi Tipologia edilizia Cascina

Ex Centrale termica – area ex Ticosa					
EDIFICIO PRODUTTIVO	Area	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
	Tutela	Monumentale Art 10	Paesaggistica Art 142	Interesse Pub. Art 136	Nessuna
	Epoca	1920			n.d.
	Stato	Pessimo	Mediocre	Buono	n.d.
	Altezza	1 piano	2/3 piani	> 3 piani	n.d.
	Copertura	Coppi	Tegole	Bitume	Altro
		2 falde	>2 falde	piana	Altro
	Funzione	Residenziale	Pubblica	Commerciale	Dismesso
		Produttiva	Agricola	Turistica	n.d.
Fonti	PGT, DBTR, Lombardia beni culturali				



Tabella 2.15 Analisi Tipologia edilizia Edificio Produttivo

Mulino Maestro					
MULINO	Area	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
	Tutela	Monumentale Art 10	Paesaggistica Art 142	Interesse Pub. Art 136	Nessuna
	Epoca	XVIII sec.			n.d.
	Stato	Pessimo	Mediocre	Buono	n.d.
	Altezza	1 piano	2/3 piani	> 3 piani	n.d.
	Copertura	Coppi	Tegole	Bitume	Altro
		2 falde	>2 falde	piana	Altro
	Funzione	Residenziale	Pubblica	Commerciale	Dismesso
		Produttiva	Agricola	Turistica	n.d.
Fonti	PGT, DBTR, Incontri Culturali Albatesi				




Tabella 2.16 Analisi Tipologia edilizia Mulino

3 POTENZIALE SOLARE FOTOVOLTAICO DEL PATRIMONIO IMMOBILIARE DELL'AREA DI STUDIO

3.1 DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI INSERIMENTO DI SISTEMI FOTOVOLTAICI

A seguito dell'identificazione delle tipologie edilizie storiche ricorrenti nell'area di progetto, sono stati identificati gli interventi possibili per quanto concerne l'inserimento di sistemi fotovoltaici integrati nel patrimonio culturale. A questo scopo, sulla base della letteratura di settore e degli interventi inseriti dalle linee guida nazionali [9], [10], sono stati individuati gli elementi tecnici sui quali è possibile inserire i sistemi fotovoltaici, le tecnologie più idonee e le percentuali di intervento sul manufatto edilizio.

In particolare, si è deciso di selezionare sia tecnologie di tipo tradizionale sia tecnologie innovative, come fotovoltaico colorato e trasparente.

Allo stesso modo, si è deciso di selezionare i sistemi BAPV e BIPV, al fine di valutarne le differenze in termini di integrazione estetica e di produzione energetica.

Per quanto riguarda le percentuali di intervento, si sono proposti diversi livelli di copertura con sistemi fotovoltaici che vanno dal 50% al 100%, a seconda della reale fattibilità dell'intervento sul manufatto oggetto di studio. Nel primo caso, si privilegia il criterio di visibilità: ovvero il fotovoltaico viene inserito su coperture, facciate, corti interne, parchi e giardini non visibili da strada e luoghi pubblici, come viene raccomandato dalle linee guida nazionali [9]. Nel secondo caso, si predilige la continuità del sistema fotovoltaico, garantendo la totale copertura dell'elemento tecnico. In questo modo, il sistema appare uniformemente distribuito e non crea discontinuità estetiche.

Sulla base di queste informazioni sono stati identificati 36 scenari di intervento possibile, illustrati nella tabella seguente.

Elemento tecnico	Tipologia PV	Tecnologia PV	Percentuale di intervento	Scenario
Copertura piana dell'edificio con parapetto	No PV	-	-	1
	BAPV	Tradizionale	50%	2
			100%	3
		Colorato	50%	4
			100%	5
Copertura piana dell'edificio senza parapetto	BAPV	Tradizionale	100%	6
		Colorato	100%	7
Copertura a falde dell'edificio	No PV	-	-	8
	BAPV	Tradizionale	50%	9
			100%	10
		Colorato	50%	11
			100%	12
	BIPV	Tradizionale	50%	13
			100%	14
		Tegola PV	100%	15
		Colorato	50%	16
			100%	17
	Tettoia a protezione ingresso	100%	18	
Copertura di corti interne	BIPV	Film sottile	100%	19
	BIPV	Pensiline	100%	20
Finestre	BIPV	Trasparente	100%	21

Contro-vetro esterno	BIPV	Trasparente	100%	22
Serra bioclimatica	BIPV	Trasparente	100%	23
Facciate esterne	BIPV	Colorato (bianco/grigio chiaro)	100%	24
		Colorato bianco	100%	25
Facciate interne	BIPV	Colorato (bianco/grigio chiaro)	25%	26
			100%	27
Balconi	BIPV	Trasparente	100%	28
Vani scala o ascensore	BIPV	Trasparente	100%	29
Tettoie stand-alone	BIPV	Tradizionale	-	30
		Colorato	-	31
Pavimentazione	BIPV	Colorato	-	32
Illuminazione stradale	BIPV	Lampada	-	33
Cartellonistica	BIPV	Stampato	-	34
Ampliamento	BIPV	-	-	35
Scala urbana	PV/BIPV	-	-	36

Tabella 3.1 Selezione di tutte tecnologie realizzabili sui edifici storici

Questi scenari di intervento sono poi stati discussi con l'Architetto Maria Mimmo, la Soprintendente al Patrimonio Architettonico di Como e Provincia, in specifici casi studio identificati come significativi per l'area oggetto di analisi. Attraverso il suo supporto, è stato realizzato un tavolo di lavoro volto a simulare un normale processo di autorizzazione degli interventi di inserimento di sistemi PV sui casi studio specifici. Questo processo ha permesso di identificare gli interventi sempre realizzabili, realizzabili con specifici accorgimenti e non realizzabili. La tabella sottostante riporta i risultati di questo tavolo di lavoro.

Scenario	Palazzo				
	Palazzo 005	Palazzo 006	Palazzo 007	Palazzo 010	Palazzo 017
	Via della Madonnetta 45	Via della Madonnetta 41	Via della Madonnetta 33, 35	Via Torno 55	Via Torno 37
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	■	■	■	■	■
9	■	■	■	■	■
10	■	■	■	■	■
11	■	■	■	■	■
12	■	■	■	■	■
13	■	■	■	■	■
14	■	■	■	■	■
15	■	■	■	■	■
16	■	■	■	■	■
17	■	■	■	■	■
18	■	■	■	■	■
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	■	■	■	■	■
22	-	-	-	-	-
23	■	■	■	■	-
24	■	■	■	■	■
25	■	■	■	■	■
26	-	-	-	-	-

27	-	-	-	-	-
28	■	■	■	■	■
29	■	■	■	■	■
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-
35	-	-	-	-	-
36	-	-	-	-	-
Note: ■ = Intervento non realizzabile ■ = Intervento realizzabile con specifici accorgimenti ■ = Intervento realizzabile					

Tabella 3.2 Selezione delle tecnologie effettivamente realizzabili sui diversi casi studio oggetto di indagine (parte 1)

Scenario	Palazzo				
	Palazzo 027 Via Geno 5	Palazzo 038 Via Coloniola 46, 44	Palazzo 043 lungo Lario Trieste 56	Palazzo 045 lungo Lario Trieste 52	Palazzo 046 Via Coloniola 49
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	■	-	-	-
7	-	■	-	-	-
8	■	■	■	■	■
9	■	■	■	■	■
10	■	■	■	■	■
11	■	■	■	■	■
12	■	■	■	■	■
13	■	■	■	■	■
14	■	■	■	■	■
15	-	■	■	■	■
16	■	■	■	■	■
17	■	■	■	■	■
18	■	■	■	■	■
19	-	■	■	-	-
20	-	■	■	-	-
21	■	■	■	■	■
22	-	-	-	-	-
23	■	-	-	-	-
24	■	■	■	■	■
25	■	■	■	■	■
26	-	■	■	■	■
27	-	■	■	■	■
28	■	■	■	■	■
29	■	■	■	■	■
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-

35	-	-	-	-	-
36	-	-	-	-	-
Note: ■ = Intervento non realizzabile ■ = Intervento realizzabile con specifici accorgimenti ■ = Intervento realizzabile					

Tabella 3.3 Selezione delle tecnologie effettivamente realizzabili sui diversi casi studio oggetto di indagine (parte 2)

Alcuni degli interventi, ammessi e non ammessi, sono poi stati simulati sugli edifici per fornire una stima indicativa del potenziale solare dell'area (sezione 3.3).

3.2 PROFILI DI CARICO

Per valutare il potenziale solare, in questo caso fornendo una stima indicativa della produzione fotovoltaica e della potenziale copertura dei consumi elettrici, è necessario stimare la domanda di energia elettrica degli edifici. Questo tradizionalmente viene realizzato attraverso la modellazione del patrimonio edilizio. Per ridurre il costo di calcolo vengono utilizzati archetipi di edifici rappresentativi. In generale, questa metodologia considera le caratteristiche fisiche degli edifici e gli orari di occupazione uniformi, che corrispondono alle medie nazionali. Tuttavia, è ampiamente riconosciuto che questa rappresentazione del comportamento dell'utente può variare considerevolmente per ogni edificio. Inoltre, è anche importante capire che l'occupazione e il comportamento dell'utente sono fenomeni casuali che non sono accuratamente rappresentato da modelli deterministici.

Per studiare questo argomento, vengono sviluppate due strategie. In primo luogo, vengono sviluppati diversi modelli di occupazione da integrare negli archetipi scelti nel progetto. Così, le simulazioni energetiche del patrimonio edilizio possono essere eseguite utilizzando sottogruppi di popolazione caratterizzati da profili di occupazione specifici. In secondo luogo, i profili di occupazione possono essere generati dai dati disponibili considerando la loro natura stocastica. Questo permette di eseguire la modellazione del parco immobiliare e di ottenere un intervallo di confidenza per la domanda di elettricità invece di un profilo deterministico. Le strategie proposte migliorano la stima della domanda di elettricità nella regione di destinazione così come la stima e l'analisi del potenziale solare fotovoltaico.

Il modello di domanda di energia CREST v2.3.3 [11] è stato identificato come il più adatto allo scopo del progetto. Questo software è basato su MS Excel e può fornire profili stocastici della domanda termica ed elettrica domestica ad alta risoluzione temporale. Nello specifico, vengono estratti e adattati il modello di occupazione, utilizzo dell'apparecchio e illuminazione per generare profili annuali di consumo elettrico con risoluzione di un'ora.

3.2.1 Descrizione del modello

a. Occupazione

Per quanto riguarda l'occupazione, il modello CREST implementa un modello Markov Chain, cioè un modello stocastico che assegna uno stato iniziale ad ogni occupante all'inizio della giornata secondo una funzione di probabilità. Gli stati successivi sono poi calcolati secondo una matrice di probabilità di transizione (tpm) che specifica la probabilità di passare dallo stato attuale al tempo t allo stato successivo al tempo $t+\Delta t$. Le probabilità dipendono dall'ora del giorno. Una caratteristica importante del modello Markov Chain è che lo stato al tempo $t+\Delta t$ dipende solo dallo stato al tempo t , non dagli stati prima di t . Nel modello di domanda CREST, il passo temporale Δt per i calcoli di occupazione è di 10 minuti.

CREST v2.3.3 implementa un modello di occupazione a 4 stati per ogni occupante:

- Stato 00: non in casa, non attivo
- Stato 01: non in casa, attivo
- Stato 10: in casa, non attivo
- Stato 11: in casa, attivo

Viene fatta una chiara distinzione tra i giorni lavorativi e i fine settimana, cioè gli stati iniziali e i tpm per i giorni lavorativi e i fine settimana sono diversi. Inoltre, possono essere simulate case con un massimo di sei residenti. Se c'è più di un residente nella casa, viene calcolato uno stato di occupazione combinato, cioè i residenti non occupano gli spazi indipendentemente l'uno dall'altro, e gli stati vengono calcolati a seconda dello stato attuale di tutti i residenti. Questo significa che il modello di occupazione per occupanti multipli è più complesso ma anche più realistico per i profili di occupazione aggregati a livello di cluster di edifici residenziali rispetto all'esecuzione multipla del modello di occupazione con un solo residente.

Per una casa con n residenti, gli stati di partenza sono dati da un vettore $(n+1)^2$. Ogni elemento del vettore denota uno stato combinato, da 00 (nessuno in casa, nessuno attivo) a nn (tutti i residenti in casa, tutti attivi). Nel modello CREST, possono essere simulate case da 1 a 6 residenti. Gli stati di partenza sono quindi specificati come 6 vettori di colonne con $(6+1)^2=49$ elementi. Ogni elemento dà la probabilità dello stato per la fascia oraria da 00:00 a 00:10 (dieci minuti dopo la mezzanotte).

Le matrici di probabilità di transizione (tpm) devono essere specificate separatamente per i giorni lavorativi, i fine settimana e il numero di residenti nella casa. Così, il modello di domanda CREST specifica 12 tpm, due per un numero variabile di residenti da 1 a 6. Il tpm per una casa con n residenti ha $(n+1)^2 \cdot 144$ righe e $(n+1)^2$ colonne perché ci sono 144 fasce orarie di 10 minuti al giorno (24 ore per 6) e $(n+1)^2$ possibili stati combinati. La somma delle righe di un tpm è o zero (lo stato combinato non è mai raggiunto al tempo t) o uno (le probabilità di tutti i possibili stati futuri devono sommarsi a uno).

b. Illuminazione

Il modello di illuminazione implementato nel modello di domanda CREST [11] considera come fattori chiave il livello di luce naturale, l'occupazione attiva (persone in casa e sveglie), la condivisione delle stanze, le unità di illuminazione (lampadine azionate da un singolo interruttore), la potenza nominale delle lampadine e l'utilizzo relativo delle unità di illuminazione. L'algoritmo è il seguente:

- In primo luogo, viene impostata una soglia per il livello minimo di irraggiamento desiderato. Le lampadine saranno accese se il livello di irraggiamento esterno è inferiore a questa soglia. Per default, questa soglia è determinata da una distribuzione normale con una media μ di 60 (W/m^2) e una deviazione standard σ di 10. Inoltre, viene controllato se il valore estratto è probabile.

$$I_{thres} = 8\sigma Rnd() - 4\sigma + \mu$$

$$p = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(I_{thres}-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

I_{thres} viene restituito se $p \geq Rnd()$, altrimenti si ripete il calcolo.

Dove $Rnd()$ restituisce un numero casuale tra 0 e 1, I_{thres} è un'ipotesi per la soglia del livello di irraggiamento (un numero casuale nell'intervallo $[\mu - 4\sigma, \mu + 4\sigma]$), e p è il valore della funzione di densità di probabilità che corrisponde a I_{thres} .

- Secondo, gli apparecchi di illuminazione delle case sono selezionati da un insieme predefinito di 100 "case". Ogni "casa" è caratterizzata da un certo numero di apparecchi (numero di lampadine installate), dove ogni lampadina ha un valore fisso (potenza in Watt).

i. Per ogni lampadina:

- $c = -0.008154 \cdot \ln(\text{Rnd}(\))$

Dove c denota una ponderazione casuale dell'uso della lampadina (non tutte le lampadine sono usate con la stessa frequenza) e la costante nella formula è stata determinata in modo tale che il consumo medio annuo di energia di illuminazione per famiglia diventa 715 kWh sulla base di un anno di dati di irraggiamento del Regno Unito. Questo valore è stato determinato simulando 100 abitazioni, per un anno, dieci volte.

- $t = 1$
- Mentre $t \leq 1440$: (ciclo sul giorno composto da 1440 minuti)
 - $I_{low} = (I_t < I_{thres})$ or $(\text{Rnd}() < 0.05)$
 Si controlla se il livello di irraggiamento esterno al tempo t è inferiore alla soglia di irraggiamento. La seconda condizione corrisponde ad una probabilità del 5% di accendere la lampadina anche se il livello di irraggiamento esterno è superiore alla soglia di irraggiamento. Se almeno una delle due condizioni è soddisfatta, I_{low} diventa vera.

- Se I_{low} e $(\text{Rnd}() < o_{eff} \cdot c)$:
 - La lampadina è accesa. Qui, o_{eff} denota l'occupazione effettiva al tempo t (occupazione attiva corretta per rappresentare la condivisione dell'uso della luce, vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), e $c = 0.008154$. Ora, si determina per quanto tempo la lampadina rimarrà accesa. Con uguale probabilità, viene selezionato casualmente un caso di durata su nove secondo la Figura 3.2. Per esempio, se viene selezionato l'intervallo 6, la lampadina rimarrà accesa per una durata compresa tra 17 e 27 minuti. La durata esatta è determinata casualmente da un campionamento uniforme all'interno di questo intervallo.

Mentre la lampadina è accesa:

Se $t > 1440$, uscire dal loop temporale e continuare con la lampadina successiva (se presente).

Se il numero di occupanti attivi al tempo t è zero, uscire dal loop temporale e continuare con la lampadina successiva (se presente).

Memorizzare la domanda di energia per un uso successivo.

Incrementare t di 1.

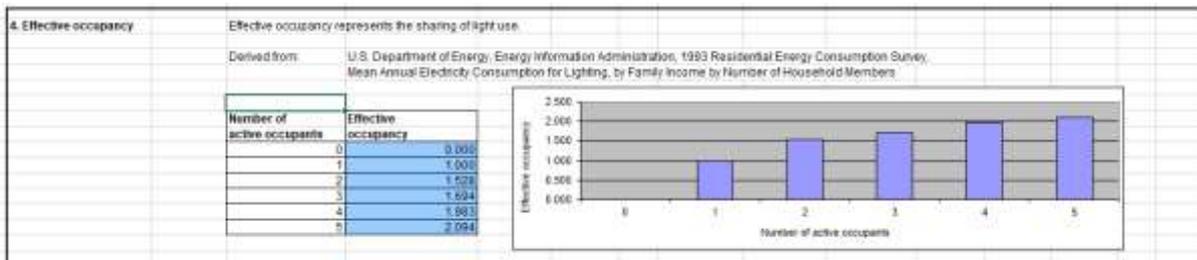


Figura 3.1 Effective occupancy model

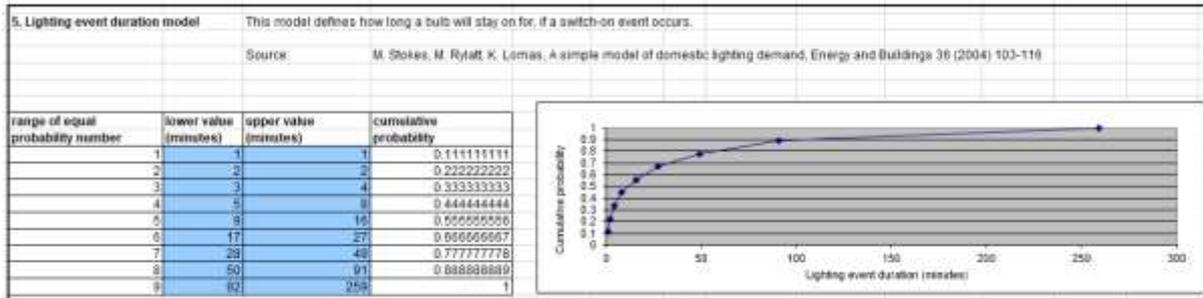


Figura 3.2: Lighting event duration model

Studiando l'algoritmo di cui sopra, diventa chiaro che la scelta appropriata del livello di soglia di irraggiamento, i dati di irraggiamento esterno, le configurazioni rappresentative degli apparecchi di abitazione, la costante di calibrazione nella ponderazione dell'uso della lampadina, e i modelli di occupazione effettiva e di durata degli eventi di illuminazione permettono di adattare il modello di illuminazione a un caso d'uso specifico. Tuttavia, questo processo richiede uno sforzo considerevole. In un primo tentativo, le regolazioni più semplici riguardanti il livello di soglia di irraggiamento e i dati di irraggiamento esterno possono essere fatte. Le configurazioni degli apparecchi d'abitazione potrebbero seguire. Se si ritiene necessario regolare la costante di calibrazione, questo dovrebbe essere fatto dopo aver eseguito circa 100 simulazioni.

c. Elettrodomestici e uso delle attrezzature idriche

Il modello di utilizzo degli apparecchi e dell'acqua [12] implementato nel modello di domanda CREST è abbastanza complesso e dettagliato.

In primo luogo, vengono determinati gli apparecchi disponibili dell'abitazione. Per ogni tipo modellato - 31 in totale, tra cui apparecchi freddi (frigoriferi/congelatori), elettronica di consumo e ICT, apparecchi di cottura, apparecchi umidi (vestiti, stoviglie), scaldabagni - si determina se l'abitazione simulata ha questo apparecchio attraverso un fattore di proporzione (proporzione di abitazioni che hanno tale apparecchio) in $[0,1]$ rispetto a un numero casuale in $[0,1]$.

Poi, per ogni apparecchio, si leggono le seguenti informazioni:

- Durata media del ciclo in minuti; questa è la durata media di accensione dell'apparecchio.
- Potenza di standby p_s in W
- Potenza nominale (= media del ciclo) p_c in W
- Probabilità di accensione (= probabilità dell'evento di accensione) p_{on} in $[0,1]$
- Domanda target in kWh all'anno
- Profilo di utilizzo delle attività tra 'LEVEL', 'ACTIVE_OCC', 'ACT_IRON', 'ACT_HOUSECLEAN', 'ACT_TV', 'ACT_COOKING', 'ACT_LAUNDRY', 'ACT_WASHDRESS
- Ritardo di riavvio l_d (= avvio ritardato dopo la fine del ciclo) in minuti. Questo è impostato di default a quattro volte la lunghezza media del ciclo per un congelatore a petto, a due volte la lunghezza media del ciclo per altri tipi di frigoriferi/congelatori, e a zero per tutti gli altri apparecchi.

Da questi dati, viene calcolato il numero di cicli all'anno n_c dell'apparecchio. n_c è impostato a zero (ad esempio, per gli apparecchi 'orologio', 'segreteria' e 'telefono cordless') o calcolato come segue (qui dato in unità SI per semplificare la formula):

$$E_t = E_c + E_s = p_c l_c n_c + (8760 \cdot 3600 \text{ s} - l_c n_c) p_s$$

Dove:

E_t è il consumo totale in J/anno

E_c è il consumo totale del ciclo in J/anno (quando l'apparecchio è acceso e in funzione)

E_s è il consumo totale in standby in J/anno

p_c è la potenza del ciclo in W (quando l'apparecchio è acceso e in funzione)

p_s è la potenza di standby in W

l_c è la lunghezza di un ciclo in secondi

Risolvendo n_c si ottiene il numero annuale di cicli:

$$n_c = \frac{(E_t - 8760 \cdot 3600 \cdot p_s)}{l_c(p_c - p_s)}$$

I profili di utilizzo delle attività significano quanto segue.

- 'LEVEL': per esempio, frigorifero; l'apparecchio funziona indipendentemente dall'occupazione attiva
- 'ACTIVE_OCC', per esempio lettore CD; l'apparecchio può essere acceso solo se c'è almeno un occupante attivo
- 'ACT_IRON', 'ACT_HOUSECLEAN', 'ACT_TV', 'ACT_COOKING', 'ACT_LAUNDRY', 'ACT_WASHDRESS'; ad esempio, ferro da stiro per 'ACT_IRON', piano cottura per 'ACT_COOKING'; l'apparecchio può essere acceso solo se c'è almeno un occupante attivo come per 'ACTIVE_OCC', con la differenza che la probabilità di accensione è calcolata a seconda del tipo di azione. Questa probabilità di accensione è tipicamente determinata da indagini sull'uso del tempo. C'è anche la possibilità di specificare un profilo di utilizzo dell'attività 'CUSTOM' (non contemplato in questo documento).

Successivamente, se l'apparecchio non è presente nell'abitazione, la domanda di energia è impostata a zero per l'intero periodo di simulazione. Altrimenti, i passi successivi sono i seguenti.

Il ritardo effettivo di riavvio, $l_{d,a}$, è randomizzato calcolando:

$$l_{d,a} = 2 \cdot \text{Rnd}() \cdot l_d$$

Il fattore di ponderazione 2 è, citando la documentazione, "solo per fornire una certa diversità". È quindi piuttosto arbitrario e può essere variato o omesso come appropriato per il caso d'uso specifico.

Anche la potenza effettiva del ciclo $p_{c,a}$ è randomizzata attingendo da una distribuzione normale con media p_c e deviazione standard $p_c/10$. Come nell'algoritmo di illuminazione, viene controllato se il valore estratto è probabile prima di accettarlo.

La lunghezza media del ciclo non è randomizzata.

Poi, inizia il ciclo del tempo (questo ciclo è all'interno del ciclo generale sugli apparecchi, quindi si applica esattamente a un apparecchio e viene poi ripetuto per ogni apparecchio):

- I. $t = 1$
- II. Mentre $t \leq 1440$ (minuti di un giorno di simulazione):
 - a. La potenza p_t prelevata dall'apparecchio al tempo t è prima impostata sulla potenza di standby: $p_t = p_s$

- b. Si legge il numero di occupanti attivi attuali, o_{act} .
- c. Se l'apparecchio è spento (non in un ciclo) e in modalità di riavvio ritardato, l'apparecchio rimane spento e il tempo di ritardo del riavvio viene diminuito. Per semplicità, per default l'apparecchio è spento all'inizio della giornata e in ritardo di riavvio, se presente. Per esempio, un frigorifero resterà sempre spento da mezzanotte in poi per tutto il suo ritardo di riavvio (per default, tratto da una distribuzione normale con una media di 44 minuti) prima di essere disponibile per l'accensione.
- d. Altrimenti, se l'apparecchio è spento

Se ($o_{act} > 0$ e il profilo d'uso non è 'CUSTOM') o il profilo d'uso è 'LEVEL': In questo caso può verificarsi un evento di avvio, perché o c'è occupazione attiva (e nessun profilo d'uso 'CUSTOM' impostato) o gli eventi di accensione non dipendono dall'occupazione attiva.

- i. La probabilità di attività p_a è impostata su 1.
- ii. Se il profilo d'uso è diverso da 'LEVEL', 'ACTIVE_OCC', 'CUSTOM' (in altre parole, l'uso è tra 'ACT_IRON', 'ACT_HOUSECLEAN', 'ACT_TV', 'ACT_COOKING', 'ACT_LAUNDRY', 'ACT_WASHDRESS', e quindi dipende dai profili di attività):

$p_a = p_{a,act}$ dove $p_{a,act}$ è un fattore che dipende dal giorno della settimana/fine settimana, dal numero di occupanti, dal tipo di attività e dall'ora del giorno secondo i dati dell'indagine sull'uso del tempo.

$$\text{Rnd}() < p_a \cdot p_{on}$$

L'apparecchio viene avviato.

- e. Altrimenti, (l'apparecchio è acceso):
 - i. Se $o_{act} = 0$ e il profilo d'uso è diverso da 'LEVEL', 'ACT_LAUNDRY', 'CUSTOM': Non fare nulla.
 - ii. Altrimenti:

Impostare la potenza p_t alla potenza nominale $p_{c,a}$ per la maggior parte degli apparecchi eccetto lavatrice e lavasciuga per le quali il profilo di potenza è variabile a seconda del tempo rimasto e segue un modello predefinito personalizzabile.

Diminuire il tempo di ciclo rimasto.
- f. La potenza dell'apparecchio viene impostata e t viene incrementato.

3.2.2 Calibrazione del modello di occupazione e attività

Il modello di domanda Crest presentato nella sezione precedente è stato sviluppato utilizzando il British Time Use Survey per ricavare lo stato iniziale e il tpm. Per applicare il modello all'area di interesse del progetto, è necessario calibrare diversi parametri: L'occupazione, le attività e le apparecchiature cambiano da contesto a contesto a causa di fattori economici, sociali, culturali e ambientali.

Il Time Use Survey (TUS) italiano raccolto dall'Istituto Nazionale di Statistica [13] è un'indagine dettagliata che mira a identificare come la popolazione italiana spende il suo tempo registrando le routine quotidiane di 50.000 cittadini italiani di 20.000 famiglie, tra novembre 2013 e ottobre 2014. Le routine sono descritte in diari di 24 ore divise per 144 intervalli di 10 minuti indicando le attività e gli spostamenti effettuati, i luoghi visitati, con chi sono stati e distinguendo tra giorni della settimana e del weekend. L'indagine è compilata utilizzando tre file che riassumono il modello di occupazione:

- Diario settimanale: Ore di lavoro per ogni intervistato.

- Diario giornaliero: Attività, luoghi, tempo
- Background individuale: Informazioni su età, sesso, livello di studio, ecc.

Qui sono di particolare interesse le attività svolte e i luoghi dove sono avvenute. Da queste informazioni possono essere derivati gli orari di presenza e gli stati di occupazione: a casa - attivo; a casa - inattivo; non a casa - attivo; non a casa - inattivo.

Utilizzando i dati del TUS, è possibile calibrare i modelli di comportamento degli occupanti esistenti che catturano la diversità e lo stile di vita della popolazione italiana. L'indagine copre una vasta gamma di caratteristiche demografiche come mostrato nella Figura 3.3.

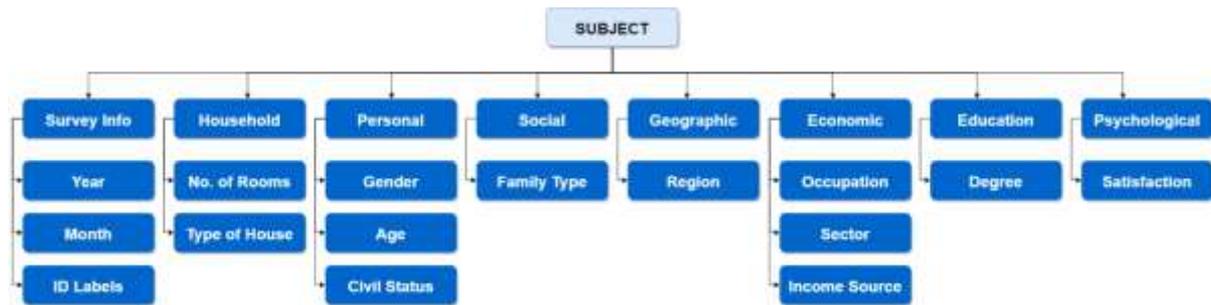


Figura 3.3. TUS

Inoltre, l'indagine ha raccolto informazioni sul numero di individui che appartengono alla stessa famiglia. Per considerare la correlazione dei modelli di occupazione e di attività tra gli occupanti della stessa famiglia, i parametri di calibrazione sono derivati a seconda del numero di occupanti (cioè, tra uno e sei). La Figura 3.4 mostra il flusso di lavoro per elaborare l'inserimento dei soggetti e ricavare le matrici di probabilità.

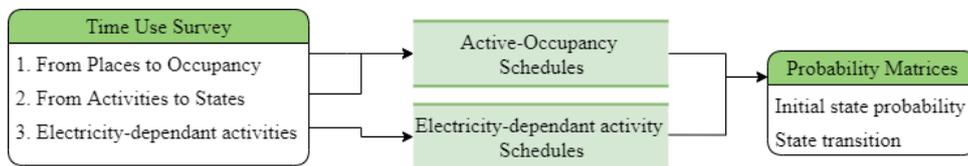


Figura 3.4. Parametri TUS

$$t_{ij} = P(X_{n+1} = j | X_n = i) \quad \text{---} \quad f_{ij} = \frac{\text{number of observations of transitions from state } i \text{ to state } j}{\text{number of observations of state } i}$$

$$T = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1M} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{M1} & t_{M2} & \dots & t_{MM} \end{bmatrix}$$

Figura 3.5. Calcolo probabilità

È stato scritto uno script python per elaborare automaticamente più di 50 milioni di voci di soggetti, costruire i programmi relativi agli occupanti e calcolare le probabilità (vedi Figura 3.5).

Infine, le informazioni raccolte dall'ISTAT e reperite in letteratura sono state utilizzate per aggiornare il possesso e le caratteristiche degli apparecchi. In particolare, il lavoro di Besagni et al. Italian Household Load Profiles: Una campagna di monitoraggio, presenta informazioni aggiornate sull'uso degli elettrodomestici, i livelli di potenza, il consumo medio giornaliero, il consumo medio annuo di energia.

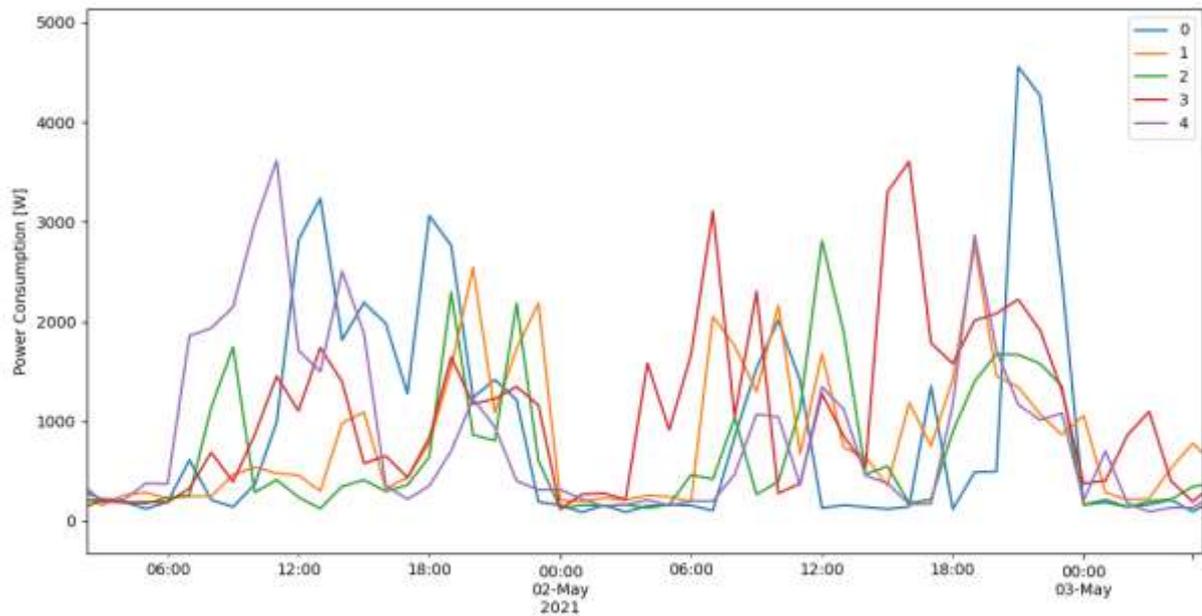
Questi parametri possono essere definiti all'interno del modello di domanda Crest per impostare obiettivi di consumo energetico per apparecchio. Infine, è importante sottolineare che il modello ha alcuni limiti. In primo luogo, il TUS è stato raccolto nel 2013, quindi i possibili cambiamenti nelle attività e nelle routine delle persone non si riflettono nei profili sintetici. In secondo luogo, le informazioni disponibili sulla proprietà degli elettrodomestici sono segmentate e i rapporti ufficiali sono datati tra il 2010 e il 2013. Tuttavia, considerando l'obiettivo del progetto, il modello calibrato è adatto a valutare il potenziale BIPV. Per il dimensionamento di uno specifico sistema BIPV, si consiglia di perfezionare ulteriormente il modello.

3.2.3 Profili di domanda elettrica - Caso di studio

Le attività di generazione dei profili elettrici, prima, e di valutazione del potenziale fotovoltaico nell'area considerata, dopo, vengono effettuate su 10 edifici rappresentativi identificati nell'analisi del patrimonio edilizio usati come caso di studio. Come mostrato nella Tabella 3.4, gli edifici selezionati sono per lo più ad uso residenziale. Essi variano per numero di piani e superficie. Poiché non sono state trovate informazioni specifiche sul tipo di persone che vivono in questa zona, i profili sono stati generati utilizzando il comportamento medio degli italiani. Inoltre, i gruppi familiari sono stati definiti stocasticamente usando le statistiche nazionali per considerare le probabilità di avere un determinato numero di membri (da 1 a 6). In altre parole, all'inizio di ogni simulazione, viene definito il numero di occupanti per appartamento, viene generato un profilo di carico di un anno e il processo viene ripetuto 20 volte. Alla fine, viene calcolato il profilo medio. In questo modo, si considera la diversità degli occupanti e si utilizza lo scenario più atteso per la valutazione del potenziale fotovoltaico.

Nu.	Comune	Ambito CT1	Codice/Denominazione	Dati	
1	Como	Sant' Agostino - San Giuliano - San Vitale	005	Epoca di costruzione	1860 - 1935
				Stato di conservazione	Buono
				Numero di piani	2
				Planimetria	Via della MADONNETTA 45
				Vincolo	Ambientale Specifico
				Destinazione d'uso	Residenza
				Fonte	PGT - Piano delle regole
				Coppi	si
				Elementi in facciata	Parapetti
				Epoca di costruzione	post 1935
2	Como	Sant' Agostino - San Giuliano - San Vitale	006	Stato di conservazione	Buono
				Numero di piani	3
				Planimetria	Via della MADONNETTA 41
				Vincolo	Ambientale Specifico
				Destinazione d'uso	Residenza
				Fonte	PGT - Piano delle regole
				Coppi	si
				Elementi in facciata	Parapetti
				Epoca di costruzione	Post 1935
				Stato di conservazione	Buono
3	Como	Sant' Agostino - San Giuliano - San Vitale	007	Numero di piani	3
				Planimetria	Via della MADONNETTA 35,33
				Vincolo	Ambientale Specifico
				Destinazione d'uso	Residenza
				Fonte	PGT - Piano delle regole
				Coppi	si
				Elementi in facciata	Parapetti
				Epoca di costruzione	Post 1935
				Stato di conservazione	Buono
				Numero di piani	3
4	Como	Sant' Agostino - San Giuliano - San Vitale	010	Planimetria	Via torno 55
				Vincolo	Ambientale Specifico
				Destinazione d'uso	Residenza
				Fonte	PGT - Piano delle regole
				Coppi	si
				Elementi in facciata	Parapetti
				Epoca di costruzione	1860 - 1935
				Stato di conservazione	Discreto
				Numero di piani	3
				Planimetria	Via torno 37
5	Como	Sant' Agostino - San Giuliano - San Vitale	017	Vincolo	Ambientale Specifico
				Destinazione d'uso	Residenza
				Fonte	PGT - Piano delle regole
				Coppi	si
				Elementi in facciata	Parapetti
				Epoca di costruzione	1860 - 1935
				Stato di conservazione	Buono
				Numero di piani	5
				Planimetria	Via torno 37
				Vincolo	Ambientale Specifico
6	Como	Sant' Agostino - San Giuliano - San Vitale	027	Destinazione d'uso	Mista: artigianale, residenza
				Fonte	PGT - Piano delle regole
				Coppi	altro
				Elementi in facciata	Parapetti
				Epoca di costruzione	post 1935
				Stato di conservazione	Buono
				Numero di piani	6
				Planimetria	Via Geno 5
				Vincolo	Ambientale Specifico
				Destinazione d'uso	Mista: commerciale, residenza
7	Como	Sant' Agostino - San Giuliano - San Vitale	038	Fonte	PGT - Piano delle regole
				Coppi	bitume
				Elementi in facciata	No
				Epoca di costruzione	Ante 1760
				Stato di conservazione	Buono
				Numero di piani	3
				Planimetria	Via colonnata 46, 44
				Vincolo	Ambientale Specifico
				Destinazione d'uso	Mista: commerciale, residenza
				Fonte	PGT - Piano delle regole
8	Como	Sant' Agostino - San Giuliano - San Vitale	043	Coppi	si
				Elementi in facciata	No
				Epoca di costruzione	Ante 1600
				Stato di conservazione	Buono
				Numero di piani	4
				Planimetria	lungo lario trieste 56
				Vincolo	Ambientale Specifico
				Destinazione d'uso	Mista: altro, residenza
				Fonte	PGT - Piano delle regole
				Coppi	si
9	Como	Sant' Agostino - San Giuliano - San Vitale	045	Elementi in facciata	No
				Epoca di costruzione	Ante 1600
				Stato di conservazione	Buono
				Numero di piani	3
				Planimetria	lungo lario trieste 52
				Vincolo	Ambientale Specifico
				Destinazione d'uso	Residenza
				Fonte	PGT - Piano delle regole
				Coppi	si
				Elementi in facciata	No
10	Como	Sant' Agostino - San Giuliano - San Vitale	046	Epoca di costruzione	Ante 1760
				Stato di conservazione	Buono
				Numero di piani	4
				Planimetria	Via colonnata 49
				Vincolo	Ambientale Specifico
				Destinazione d'uso	Mista: commerciale, residenza
				Fonte	PGT - Piano delle regole
				Coppi	si
				Elementi in facciata	Parapetti

Tabella 3.4 Casi di studio



3.3 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE SOLARE FOTOVOLTAICO

Come introdotto nella sezione precedente, i profili di domanda elettrica generati per i 10 edifici dell'area di Como presi in esame vengono inseriti nel modello costruito per effettuare il calcolo del potenziale solare fotovoltaico. Tale calcolo, infatti, non solo stima quanta energia elettrica può essere generata da un'eventuale integrazione di sistemi fotovoltaici sugli edifici, ma ne valuta anche il potenziale utilizzo da parte degli occupanti, fornendo una preliminare ipotesi sulla percentuale di domanda elettrica che può essere coperta da fotovoltaico.

3.3.1 Descrizione del modello

Il modello costruito per la valutazione del potenziale fotovoltaico è costituito dagli elementi sottoelencati:

- modello geometrico 3D, contenente i 10 edifici (Tabella 3.2 e Tabella 3.3) con le relative superfici messe a disposizione per l'integrazione di moduli fotovoltaici (inclusi tetti, facciate, balaustrate, tettoie, finestre, pavimentazioni esterne), i volumi che vi determinano ombreggiamento e l'ambiente circostante rappresentato da terreno, lago e colline (fonti: Google Map, Viewer geografico 3D - Geoportale Regione Lombardia [14] Analisi del patrimonio immobiliare e delle tipologie edilizie presentata nel capitolo 2);



Figura 3.6 Modello 3D dei 10 edifici analizzati (in grigio) all'interno dell'area di Como.

- file meteo, contenente (insieme ad altri dati) valori orari di irraggiamento e di temperatura dell'ambiente relativi alla posizione degli edifici presi in esame, generati per un anno meteorologico tipico (TMY) (fonte: Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [15]);
- profili di domanda elettrica, contenenti valori orari relativi al consumo degli occupanti, generati secondo la metodologia descritta nella sezione 3.2;



Figura 3.7 Esempio di profilo di domanda elettrica dell'edificio 005 durante un giorno tipo

- caratteristiche del sistema fotovoltaico e nello specifico dei moduli considerati (colore, efficienza, dimensioni).

3.3.2 Metodologia applicata nelle simulazioni

Per valutare il potenziale fotovoltaico è utilizzato un tool creato da Eurac Research. Il tool, originariamente sviluppato per effettuare ottimizzazioni di sistemi fotovoltaici come illustrato in [16], [17] ed in [18], viene in questo caso applicato in una modalità semplificata per eseguire simulazioni. Esso stima l'irraggiamento sulle superfici disponibili per l'installazione di moduli fotovoltaici, calcola la produzione di energia elettrica attesa e ne valuta la corrispondenza oraria con il profilo di carico elettrico considerato. Tale sequenza è applicata ad ognuno dei 10 edifici. Le superfici rese disponibili per l'installazione dei moduli fotovoltaici sono state selezionate scartando in principio quelle soggette ad ombreggiamento costante.

Le simulazioni sono effettuate adottando due diversi approcci, illustrati di seguito.

Approccio 1: applicazione di moduli fotovoltaici (denominati “innovativi” nel presente documento) con alto potenziale di integrazione estetica nel contesto considerato, e bassa efficienza energetica. Tecnologie di questo tipo hanno previsto l’inserimento di sistemi fotovoltaici colorati e trasparenti.

La Tabella 3.5 presenta nel dettaglio l’associazione delle diverse tipologie di modulo fotovoltaico (identificazione di prodotti specifici attualmente disponibili sul mercato) assegnate ai componenti dell’edificio. Alcune delle tipologie considerate sono illustrate successivamente in Figura 3.8.

Componente dell’edificio	Tetto a falde	Tetto piano grigio	Facciate	Balaustre e tettoie	Finestre	Pavimentazioni esterne
Colore/ tipologia modulo PV	Terracotta (Suncol® uniform - Sunage)	Grigio basalto (Suncol® uniform - Sunage)	Bianco Traffico (Suncol® uniform - Sunage)	PV semitrasparente L vision (Amorphous silicon PV glass – Onyx Solar)	PV semitrasparente XL vision (Amorphous silicon PV glass – Onyx Solar)	Grigio (PV walkable floor – Onyx Solar)
Efficienza modulo PV	13.6 %	12.5 %	11 %	3.4 %	2.8 %	12.5 %

Tabella 3.5 Tipologie di moduli fotovoltaici associate ai componenti degli edifici



Figura 3.8 Esempi di moduli fotovoltaici considerati: Suncol® uniform ©Sunage (sinistra), Amorphous silicon PV glass - Semitrasparente L vision ©Onyx Solar (centro), PV walkable floor ©Onyx Solar (destra)

Approccio 2: applicazione di moduli fotovoltaici più “tradizionali” con più alta efficienza e minor potenziale di integrazione estetica nel contesto considerato. In questo caso, i sistemi sono stati applicati solo sulle coperture edilizie, su alcune balaustre e pavimentazioni esterne, mentre ulteriori superfici (ad esempio facciate e finestre) sono state scartate a monte delle simulazioni in quanto ritenute assolutamente non adatte all’integrazione dei moduli fotovoltaici considerati.

La Tabella 3.6 presenta nel dettaglio l’associazione delle diverse tipologie di modulo fotovoltaico (generalizzazione di prodotti specifici attualmente disponibili sul mercato) ai componenti dell’edificio. Alcune delle tipologie, prese come esempio per identificare dei valori di efficienza, sono illustrate successivamente in Figura 3.9.

Componente dell’edificio	Tetto a falde	Tetto piano grigio	Facciate	Balaustre e tettoie	Finestre	Pavimentazioni esterne
Colore/ tipologia modulo PV	PV opaco nero	PV opaco nero	-	PV semitrasparente	-	PV opaco nero
Efficienza modulo PV	18 %	18 %	-	9 % *	-	18 %

* efficienza calcolata ipotizzando di dimezzare la superficie attiva dei moduli rispetto alla tipologia opaca.

Tabella 3.6 Tipologie di moduli fotovoltaici associate ai componenti degli edifici



Figura 3.9 Esempi di moduli fotovoltaici usati come esempio per identificare dei valori di efficienza: 156M60 B - full black ©Eclipse Italia (sinistra), modulo fotovoltaico semitrasparente custom-made, EnergyGlass ©Building owner (centro), Floor® walkable photovoltaic tile © Invent (destra)

L'applicazione dei due diversi approcci individuati (1 e 2) ha l'obiettivo di valutare il potenziale fotovoltaico degli edifici senza privilegiare integrazione estetica o produzione energetica. Il successivo confronto tra i due scenari permette poi di verificare i benefici conservativi, tecnologici ed energetici generati dai diversi approcci (sezione 3.3.3).

3.3.3 Risultati delle simulazioni

Il tool di simulazione applicato permette di calcolare quanta elettricità viene prodotta da fotovoltaico ed auto-consumata direttamente dagli occupanti dell'edificio, senza prima passare dalla rete. In questa sezione sono riportati alcuni risultati principali, suddivisi a seconda dell'approccio adottato (1 o 2), delle simulazioni effettuate sui 10 edifici considerati.

In particolare, viene mostrato il contributo che moduli fotovoltaici installati su diversi componenti, considerati prima singolarmente ("Balaustre", "Facciate", "Tetto", ...) e poi in contemporanea ("Tutti"), possono dare in termini di copertura del carico elettrico annuo. Tali risultati sono **da intendersi esclusivamente come stime indicative** utili a dare un'idea delle potenzialità fornite dalle tecnologie oggi disponibili sul mercato, moduli fotovoltaici con un alto grado di flessibilità estetica, adattabili a vari contesti.

Edificio 005: carico elettrico totale annuo: 9124 kWh



Approccio	Indicatore	Balaustre	Facciate	Copertura	Finestre	Tutti
1	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	355	1814	2958	67	3367
	Copertura del carico elettrico [%]	4	20	32	1	37
2	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	936	-	3228	-	3366
	Copertura del carico elettrico [%]	10	-	35	-	37

Edificio 006: carico elettrico totale annuo: 12428 kWh



Approccio	Indicatore	Copertura
1	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	4275

	Copertura del carico elettrico [%]	34
2	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	4651
	Copertura del carico elettrico [%]	37

Edificio 007: carico elettrico totale annuo: 12428 kWh



Approccio	Indicatore	Balaustre	Facciate	Copertura	Finestre	Tutti
1	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	337	509	4318	45	4479
	Copertura del carico elettrico [%]	3	4	35	0.4	36
2	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	890	-	4692	-	4800
	Copertura del carico elettrico [%]	7	-	38	-	39

Edificio 010: carico elettrico totale annuo: 16867 kWh



Approccio	Indicatore	Balaustre	Facciate	Copertura	Finestre	Tutti
1	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	594	6473	6469	355	7419
	Copertura del carico elettrico [%]	4	38	38	2	44
2	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	1574	-	6883	-	6996
	Copertura del carico elettrico [%]	9	-	41	-	41

Edificio 017: carico elettrico totale annuo: 32317 kWh



Approccio	Indicatore	Balaustre	Tettoie	Facciate	Paviment.	Copertura
1	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	654	861	6772	3796	9590

	Copertura del carico elettrico [%]	2	3	21	12	30
2	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	-	2282	-	5375	10808
	Copertura del carico elettrico [%]	-	7	-	17	33

Approccio	Indicatore	Finestre	Tutti
1	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	185	12321
	Copertura del carico elettrico [%]	1	38
2	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	-	12155
	Copertura del carico elettrico [%]	-	38

Edificio 027: carico elettrico totale annuo: 39278 kWh



Approccio	Indicatore	Balaustre	Facciate	Copertura	Finestre	Tutti
1	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	3075	3666	11652	382	13686
	Copertura del carico elettrico [%]	8	9	30	1	35
2	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	7999	-	13493	-	14873
	Copertura del carico elettrico [%]	20	-	34	-	38

Edificio 038: carico elettrico totale annuo: 16867 kWh



Approccio	Indicatore	Balaustre	Tettoie	Facciate	Facciate. int	Copertura
1	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	85	1178	1704	1284	7759
	Copertura del carico elettrico [%]	1	7	10	8	46
2	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	226	3063	-	-	7987
	Copertura del carico elettrico [%]	1	18	-	-	47

Approccio	Indicatore	Finestre	Tutti
1	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	208	7830
	Copertura del carico elettrico [%]	1	46
2	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	-	8017
	Copertura del carico elettrico [%]	-	48

Edificio 043: carico elettrico totale annuo: 16867 kWh

Approccio	Indicatore	Tettoie	Facciate	Facciate int.	Copertura	Tutti
1	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	454	2326	5569	6598	7271
	Copertura del carico elettrico [%]	3	14	33	39	43
2	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	1196	-	-	6971	7053
	Copertura del carico elettrico [%]	7	-	-	41	42

Edificio 045: carico elettrico totale annuo: 9124 kWh

Approccio	Indicatore	Copertura	Finestre	Tutti
1	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	4087	121	4091
	Copertura del	45	1	45

	carico elettrico [%]			
2	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	4210	-	4210
	Copertura del carico elettrico [%]	46	-	46

Edificio 046: carico elettrico totale annuo: 9124 kWh



Approccio	Indicatore	Balaustre	Copertura	Finestre	Tutti
1	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	35	2632	20	2657
	Copertura del carico elettrico [%]	0.4	29	0.2	29
2	Energia prodotta ed auto-consumata [kWh]	-	2957	-	2957
	Copertura del carico elettrico [%]	-	32	-	32

La Tabella 3.7 presenta una sintesi dei risultati ottenuti in termini di copertura del carico elettrico degli edifici. Per valutare i risultati è importante considerare che l'ipotesi di installare tecnologie fotovoltaiche "tradizionali" è stata scartata su alcune delle superfici (ad esempio facciate e finestre), dove invece sono stati simulati moduli fotovoltaici "innovativi" per garantirne l'integrazione estetica e tecnologica e la compatibilità con i caratteri del patrimonio culturale.

Edificio	Copertura consumi elettrici % *		Variazione %
	Approccio 1 (PV innovativi)	Approccio 2 (PV tradizionali)	
005	37	37	0
006	34	37	+ 9
007	36	39	+ 8
010	44	41	- 7

017	38	38	0
027	35	38	+ 9
038	46	48	+ 4
043	43	42	- 2
045	45	46	+ 2
046	29	32	+ 10

* Il valore riportato fa riferimento alla soluzione "Tutti", nella quale i diversi componenti con moduli fotovoltaici integrati sono simulati nel loro insieme.

Tabella 3.7: sintesi dei risultati ottenuti in termini di copertura del carico elettrico degli edifici.

4 CONCLUSIONI

La tecnologia fotovoltaica integrata (BIPV) ha fatto enormi progressi tecnologici nell'arco degli ultimi anni ed oggi offre soluzioni gradevoli esteticamente ed integrabili nel contesto urbano e nel Parco edilizio esistente.

Attraverso l'integrazione delle tecnologie rinnovabili nel contesto urbano e nel Parco edilizio esistente si può migliorare la qualità architettonica dell'edificio in chiave di sostenibilità economica e ambientale. La legislazione europea impone obblighi di inserimento di fonti rinnovabili nel risanamento del patrimonio edilizio, tuttavia le soluzioni fotovoltaiche integrabili nei sistemi costruttivi tradizionali risultano ancora poco conosciute ai tecnici di settore e quindi poco diffuse. Il progetto punta quindi a porre le basi per una metodologia d'analisi comune, volta a colmare le lacune esistenti e fornire un metodo per individuare le potenzialità dei sistemi BIPV e favorirne la diffusione nel risanamento edilizio del territorio italo-elvetico.

Il report descrive dettagliatamente la metodologia adottata per l'analisi del patrimonio edilizio in ambiti tutelati nell'area transfrontaliera della provincia di Como, necessaria per valutare la compatibilità delle tecnologie fotovoltaiche integrate nel patrimonio culturale e determinare le potenzialità alla diffusione dei sistemi BIPV nel recupero dell'esistente.

Il documento parte dall'analisi delle tipologie di tutele ricorrenti nell'area e delle caratteristiche del territorio per identificare quali sono le principali tipologie di aree presenti. Si passa quindi all'analisi di queste aree e all'individuazione delle ricorrenze morfologiche e tipologiche degli immobili presenti, volta ad individuare e classificare le tipologie edilizie ricorrenti. L'analisi ha portato alla creazione di un database, contenente le informazioni di 70 edifici analizzati e situati nel comune di Como.

I risultati dell'analisi del patrimonio immobiliare esistente gettano le basi per individuare il grado di integrabilità di tecnologie BIPV nelle differenti tipologie edilizie presenti sul territorio, agevolando una maggiore integrazione di queste tecnologie in ambiti tutelati, nel rispetto delle caratteristiche storico-artistiche del patrimonio e del paesaggio. L'analisi del patrimonio immobiliare, inoltre, è propedeutico all'individuazione del potenziale solare fotovoltaico del patrimonio immobiliare esistente nell'area di cooperazione, step successivo di progetto.

10 dei 70 edifici analizzati sono stati utilizzati come caso studio nell'attività di valutazione del potenziale solare fotovoltaico. Tale attività si è svolta in due fasi. Nella prima fase sono stati

calcolati i profili di consumo elettrico dei 10 edifici. Nella seconda fase sono state effettuate delle simulazioni energetiche con l'obiettivo di stimare indicativamente la possibile produzione fotovoltaica di sistemi BIPV integrati negli edifici e la loro potenzialità nel coprire i consumi elettrici.

Nel modello di simulazione, in un primo caso è ipotizzata l'integrazione di moduli fotovoltaici "innovativi" (con alto grado di adattabilità estetica al contesto considerato, ma bassa efficienza) e in un secondo caso l'integrazione di moduli fotovoltaici più "tradizionali" (con basso grado di adattabilità estetica al contesto considerato, ma ben più alta efficienza). Considerando l'impossibilità di integrare moduli fotovoltaici tradizionali su alcune delle superfici dove invece sono stati presi in considerazione dei moduli innovativi, i risultati ottenuti rivelano una buona potenzialità delle nuove tecnologie fotovoltaiche nel coprire i consumi dell'edificio. Infatti, comparando la percentuale di copertura dei consumi elettrici ottenuta nel primo caso e nel secondo caso, i risultati sono simili. In particolare, in 6 edifici (n. 006, 007, 027, 038, 045, 046) nel primo caso la percentuale è inferiore in media del 7%. In 2 edifici (n. 005, 017) la percentuale non varia. In 2 edifici (n. 010, 043) la percentuale è maggiore in media del 5%.

5 RIFERIMENTI

[*D. Lgs. 42/04 - Codice dei beni culturali e del paesaggio, 2004.*

1

]

[«S.I.B.A. - Sistema Informativo Beni e Ambiti Paesaggistici,» [Online]. Available:
2 [https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioServizio/servizi-e-](https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioServizio/servizi-e-informazioni/Enti-e-Operatori/Territorio/Paesaggio/siba-sistema-Informativo-beni-ambiti-paesaggistici/siba-sistema-Informativo-beni-ambiti-paesaggistici)
] [informazioni/Enti-e-Operatori/Territorio/Paesaggio/siba-sistema-Informativo-beni-ambiti-](https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioServizio/servizi-e-informazioni/Enti-e-Operatori/Territorio/Paesaggio/siba-sistema-Informativo-beni-ambiti-paesaggistici/siba-sistema-Informativo-beni-ambiti-paesaggistici)
[paesaggistici/siba-sistema-Informativo-beni-ambiti-paesaggistici](https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioServizio/servizi-e-informazioni/Enti-e-Operatori/Territorio/Paesaggio/siba-sistema-Informativo-beni-ambiti-paesaggistici/siba-sistema-Informativo-beni-ambiti-paesaggistici). [Consultato il giorno Giugno 2020].

[«Vincoli in rete - Ministero per i beni e le attività culturali,» [Online]. Available:
3 <http://vincoliinrete.beniculturali.it>. [Consultato il giorno Giugno 2020].

]

[Comune di Como, «Piano di governo del territorio del comune di Como,» in *D.C.C. n° 32 del*
4 *13/06/2013.*, Como, 2013.

]

[«DUSAF 6.0 - Uso e copertura del suolo 2018,» [Online]. Available:
5 [http://www.geoportale.regione.lombardia.it/metadati?p_p_id=PublishedMetadata_WAR_geoport](http://www.geoportale.regione.lombardia.it/metadati?p_p_id=PublishedMetadata_WAR_geoportalemetadataportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_PublishedMetadata_WAR_geoportalemetadataportlet_view=editPublishedMetadata&_PublishedMetadata_WAR)
] [alemetadataportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_PublishedMetada](http://www.geoportale.regione.lombardia.it/metadati?p_p_id=PublishedMetadata_WAR_geoportalemetadataportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_PublishedMetadata_WAR_geoportalemetadataportlet_view=editPublishedMetadata&_PublishedMetadata_WAR)
[ta_WAR_geoportalemetadataportlet_view=editPublishedMetadata&_PublishedMetadata_WAR](http://www.geoportale.regione.lombardia.it/metadati?p_p_id=PublishedMetadata_WAR_geoportalemetadataportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_PublishedMetadata_WAR_geoportalemetadataportlet_view=editPublishedMetadata&_PublishedMetadata_WAR).
[Consultato il giorno Giugno 2020].

[«TABULA web Tool,» [Online]. Available: <http://webtool.building-typology.eu/#bm>. [Consultato il
6 giorno Giugno 2020].

]

[«Lombardia beni culturali,» [Online]. Available: <http://www.lombardiabeniculturali.it/>. [Consultato
7 il giorno giugno 2020].

]

[«Piano Territoriale di Coordinamento del parco Spina Verde,» Como, 2010.

8

]

[M. p. i. B. e. l. A. C. e. p. i. T. (MiBACT), «Linee di Indirizzo per il miglioramento dell'efficienza
9 energetica del patrimonio culturale: Architettura, centri e nuclei storici ed urbani,» Roma, 2015.

]

[«Linee Guida cantonali - Interventi nei nuclei storici Criteri di valutazione paesaggistica nell'ambito
1 della procedura edilizia,» 2016. [Online]. Available: <https://www4.ti.ch>. [Consultato il giorno 28 01
0 2020].

]

[E. McKenna, M. Thomson e J. Barton, «CREST Demand Model,» Loughborough University, 2015.

1

1
]

[I. Richardson, M. Thomson, D. Infield e C. Clifford, «Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model,» *Energy and Buildings*, 2010.

2
]

[Italian National Institute of Statistics, «Multipurpose survey on households - time use: public use micro.stat files,» 2013. [Online]. Available: <https://www.istat.it/en/archive/202534>. [Consultato il 3 giorno August 2020].

]

[R. Lombardia, «Viewer geografico 3D - Geoportale,» [Online]. Available: <https://www.cartografia.servizirl.it/viewer32-3D/index.html>.

4
]

[J. -. E. Commission, «Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS),» [Online]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solres/solrespvgis.htm>.

5
]

[R. A. L. M. a. D. M. M. Lovati, «Effect of module orientation and batteries on performance of building integrated photovoltaic system,» in *34th EU PVSEC*, Amsterdam, 2017.

6
]

[G. S. G. F. L. M. R. A. D. M. M. Lovati, «New method for the early design of BIPV with electric storage: A case study in northern Italy.,» *Sustainable Cities and Society*, vol. 48, p. 101400, 2019.

7
]

[J. A. D. M. M. Lovati, «Open source tool for a better design of BIPV+battery system: an applied example,» in *35th EU PVSEC*, Brussels, 2018.

8
]

[E. McKenna, M. Thomson e J. Barton, *CREST Demand Model.*, Loughborough University, 2015.

1
9
]

[R. A. L. M. D. M. M. Lovati, «Effect of module orientation and batteries on performance of building integrated photovoltaic system,» in *33rd EU PVSEC*, Amsterdam, 2017.

0
]