



**UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE**  
**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

---

Corso di Laurea magistrale in Ingegneria Edile

**UN MODELLO DI AUDIT ENERGETICO PER IL REAL ESTATE  
MANAGEMENT**

AN ENERGY AUDIT MODEL FOR REAL ESTATE MANAGEMENT

Relatore: Prof. Alberto Giretti

Tesi di Laurea di:  
Federico Benigni

Anno Accademico 2020/2021

*“A nonno Nannì...”*



# Indice

<i>Abstract</i> .....	8
1. Efficienza energetica di edifici e politiche d’incentivazione.....	9
1.1. Attestato di Prestazione Energetica.....	11
Figura 1 .....	12
1.2. Politiche d’incentivazione .....	17
2. Il decreto 110 %.....	25
2.1. In cosa consiste l’agevolazione .....	26
2.2. Chi può usufruirne.....	30
2.3. Interventi principali .....	31
2.3.1. Interventi di isolamento termico degli involucri edilizi .....	31
2.3.2. Sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale sulle parti comuni .....	33
2.3.3. Sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale sugli edifici unifamiliari o sulle unità immobiliari di edifici plurifamiliari .....	34
2.4. Interventi aggiuntivi o trainanti.....	35
2.4.1. Interventi di efficientamento energetico .....	36
2.4.2. Installazione di impianti solari fotovoltaici e sistemi di accumulo ..	37
2.4.3. Infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici .....	39
2.5. Requisiti degli interventi ammessi al superbonus .....	40
3. Il rilievo dei parametri tecnici.....	44
4. La stima dello stato di fatto .....	63
4.1 Reti Bayesiane.....	65
4.2 Introduzione alle reti bayesiane.....	65
4.3 Il modello probabilistico .....	69

4.4 La raccolta dati .....	70
Appendice .....	72

## **Indice figure**

<b>Figura 1:</b> Scala di classificazione energetica degli edifici.....	12
<b>Figura 2:</b> Isolamento a cappotto.....	33
<b>Figura 3:</b> Caldaia a condensazione.....	34
<b>Figura 4:</b> Caldaia a pompa di calore.....	35
<b>Figura 5:</b> Impianti fotovoltaici installati.....	38
<b>Figura 6:</b> Colonnina per la ricarica di veicoli elettrici.....	40
<b>Figura 7:</b> Pianta seminterrato abitazione 1.....	48
<b>Figura 8:</b> Pianta piano terra abitazione 1.....	48
<b>Figura 9:</b> Pianta piano primo abitazione 1.....	49
<b>Figura 10:</b> Pianta sottotetto abitazione 1.....	49
<b>Figura 11:</b> Prospetto Nord abitazione 1.....	50
<b>Figura 12:</b> Prospetto Sud abitazione 1.....	50
<b>Figura 13:</b> Prospetto Est abitazione 1.....	51
<b>Figura 14:</b> Prospetto Ovest abitazione 1.....	51
<b>Figura 15:</b> Sezione abitazione 1.....	52
<b>Figura 16:</b> Schizzo con misure abitazione 1.....	53
<b>Figura 17:</b> Foto 1 abitazione 1.....	53

<b>Figura 18:</b> Foto 2 abitazione 1.....	54
<b>Figura 19:</b> Foto 3 abitazione 1.....	54
<b>Figura 20:</b> Foto 4 abitazione 1.....	55
<b>Figura 21:</b> Restituzione grafica in CAD abitazione 1.....	56

## **Indice tabelle**

<b>Tabella 1:</b> Decreto efficienza energetica 2020.....	22
<b>Tabella 2:</b> Decreto efficienza energetica 2020.....	23
<b>Tabella 3:</b> Decreto efficienza energetica 2020.....	24
<b>Tabella 4:</b> Le detrazioni irpef e ires per gli interventi di efficientamento energetico.....	30
<b>Tabella 5:</b> Interventi ammessi al Superbonus.....	41
<b>Tabella 6:</b> Dati acquisiti per la classificazione energetica di dieci abitazioni rilevate.....	57

## ***Abstract***

L'efficienza energetica degli edifici è una condizione fondamentale nell'attuazione delle politiche nazionali per la sostenibilità. Il trasferimento tecnologico nel patrimonio costruito di solito avviene attraverso contratti energetici o progetti di ristrutturazione che si basano su un insieme di decisioni spesso prese con una conoscenza limitata del contesto tecnico. Per esempio, gli edifici soggetti a contratti di rendimento energetico (EPC) sono di solito piuttosto complessi, a volte relativamente vecchi, e solitamente poco documentati. Allo stesso modo, la gestione degli investimenti immobiliari spesso comporta l'analisi di molte opzioni concorrenti, le cui condizioni reali ed il potenziale di efficienza non possono essere valutati a causa della mancanza di informazioni tecniche. Nei fatti, la raccolta di informazioni tecniche complete e affidabili è un processo lungo e costoso, che non sempre può essere completato nei tempi tecnici stabiliti da questi contesti operativi. In queste condizioni, l'approccio standard alla previsione delle prestazioni energetiche attraverso la modellazione e la simulazione dettagliata è impraticabile.

La seguente tesi documenta lo sviluppo di un sistema di supporto alle decisioni per gli investimenti immobiliari in ambito di edilizia residenziale che permette la stima della prestazione energetica raggiungibile dall'immobile sulla base di un insieme di informazioni tecniche circa l'immobile in assoluto limitato.

La metodologia proposta è basata su un modello Bayesiano del comportamento energetico dell'edificio che permette di quantificare e gestire l'incertezza della stima.

La statistica del modello Bayesiano è stata generata sulla base di una serie di indagini tecniche effettuate su edifici reali. Ogni edificio ha fornito le informazioni necessarie per calibrare il modello ridotto. Su questa base, il potenziale di efficienza di ogni edificio è stato stimato attraverso la simulazione.



## **1. Efficienza energetica di edifici e politiche d'incentivazione**

Quando si parla di efficientamento energetico si fa riferimento agli interventi, realizzati su edifici pubblici e privati, complessi aziendali e commerciali per migliorarne l'efficienza energetica, ossia per ottimizzare il rapporto tra immissione di energia e rendimento in termini di produzione o di consumi. L'obiettivo è, pertanto, la migliore allocazione dell'energia.

Gli interventi effettuati per migliorare l'efficienza energetica di un edificio risultano doppiamente vantaggiosi. Da un lato, queste attività permettono di sfruttare le fonti energetiche in modo ottimale, senza una riduzione delle prestazioni ma con un minore consumo di energia. Dall'altro lato, le spese sostenute per interventi finalizzati alla riqualificazione energetica beneficiano di vantaggiose detrazioni fiscali.

Gli interventi di efficientamento energetico mirano ad ottimizzare il rapporto tra fabbisogno energetico e livello di emissioni. Tra gli interventi che possono contribuire in modo significativo al miglioramento dell'efficienza energetica rientrano le opere di coibentazione delle pareti, delle coperture o degli infissi, l'installazione di pannelli solari o di impianti che permettono di produrre o consumare fonti rinnovabili e la sostituzione delle classiche lampadine con fonti di illuminazione a basso consumo come i LED.

Allo stesso modo, contribuiscono ad aumentare l'efficienza energetica di un immobile la sostituzione degli impianti di climatizzazione e delle caldaie di vecchia generazione con altri impianti che presentano un maggiore livello di efficienza, come i sistemi a pompa di calore, le caldaie a condensazione di classe pari o superiore alla A, le caldaie a biomassa, i micro cogeneratori e i dispositivi multimediali per il controllo da remoto degli impianti di riscaldamento e climatizzazione.

Investire nell'efficientamento energetico significa fare un investimento destinato a dare i suoi frutti tanto nel breve, quanto nel lungo periodo. Questi interventi migliorano le prestazioni degli edifici: un immobile nella classe energetica A è un immobile che presenta un elevato valore di rivendita e che garantisce un ottimo comfort abitativo (in termini di stabilità delle temperature, di qualità dell'aria e di assenza di spifferi) con consumi energetici estremamente bassi in ogni stagione dell'anno. Da non trascurare sono anche i positivi impatti sull'ambiente. Tanto più un edificio è in grado di sfruttare in modo ottimale l'energia, tanto inferiore sarà il suo impatto in termini di inquinamento ambientale ed atmosferico. Un sistema orientato al progressivo abbandono dei combustibili fossili a favore delle energie rinnovabili riesce a coniugare salvaguardia ambientale e risparmio energetico ed economico.

Quelli di risparmio e di efficientamento energetico sono due concetti da mantenere distinti anche se spesso camminano di pari passo. Si parla di risparmio energetico con riferimento a quegli interventi volti a ridurre i livelli di consumo, attraverso il taglio degli sprechi e l'ottimizzazione dell'uso delle fonti di approvvigionamento e impiego dell'energia. Esempi tipici sono l'adozione di comportamenti virtuosi come l'uso in certe fasce orarie degli elettrodomestici e il minor periodo di accensione degli impianti. Va da sé che questi interventi che rimuovono i fattori che condizionano il consumo energetico e che mirano ad un minor impiego di energia possono non coincidere con un miglioramento dell'efficienza energetica. Al contrario invece, migliorando l'efficientamento energetico si va ad ottenere anche un notevole risparmio.

### **1.1. Attestato di Prestazione Energetica**

La certificazione energetica meglio nota come “Attestato di Prestazione Energetica” (APE), è un documento che attesta la classe energetica di un immobile, la sua prestazione e il suo consumo energetico per anno. Il certificato, oltre a determinarli su una scala che va dalla classe A4 alla classe G, consente di identificare le eventuali migliorie volte a ottimizzare la prestazione energetica dell’edificio o dell’abitazione, tramite un progetto di efficientamento energetico. Il piano di efficientamento energetico è lo strumento che include gli interventi da effettuare per ottimizzare consumi e tagliare gli sprechi in bolletta.

Il costo dell’APE è variabile e dipende da diversi fattori, come dimensioni dell’immobile, tipo e numero di impianti installati. Il prezzo dell’Attestato non è fisso ed è, dunque, determinato dalle caratteristiche dell’unità immobiliare, in termini di metratura e di tipologia dell’edificio: certamente il costo dell’APE per un negozio o una villa sarà maggiore rispetto a quello di un normale appartamento.

La certificazione energetica è uno strumento introdotto dal Ministero dello Sviluppo Economico anche per monitorare lo stato di efficientamento energetico del Paese. Il decreto introduce infatti il vincolo per le regioni e le province di stabilire procedure di controllo, al fine di analizzare non meno del 2% annuo degli attestati di prestazione energetica del proprio territorio. L’Italia infatti, come tutti gli Stati membri dell’Unione Europea, ha l’obiettivo di ridurre le emissioni dell’80-85% rispetto ai livelli di emissioni del 1990, sostenendo appunto la ristrutturazione e l’efficientamento energetico di edifici pubblici e privati.

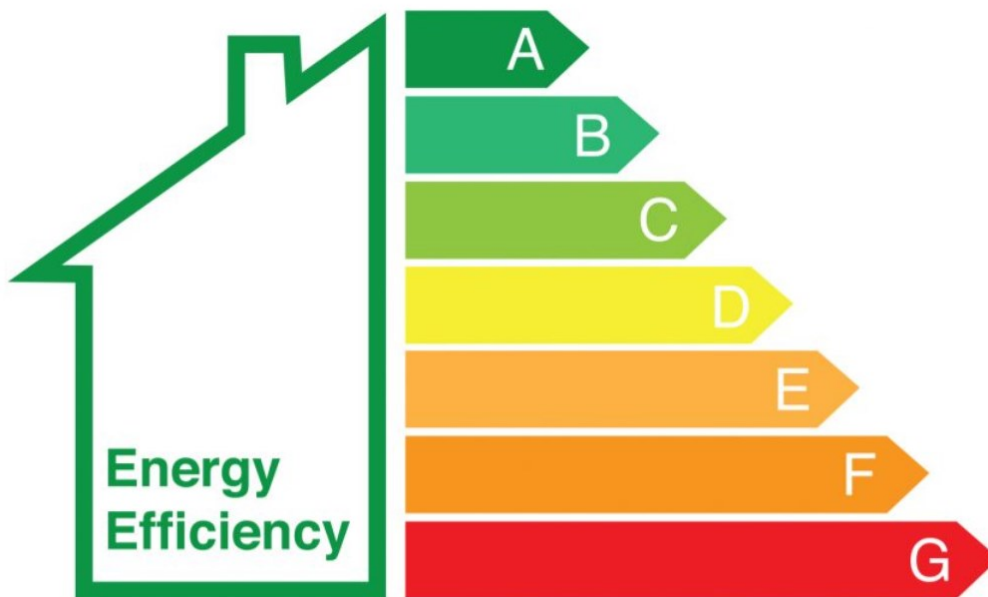
In quest’ottica, tutti i nuovi edifici (inclusi quelli esistenti che devono subire una ristrutturazione importante) dovranno rispondere a criteri di efficientamento energetico ancora più severi: saranno gli edifici a energia quasi zero, ovvero immobili ad altissima prestazione

energetica, con fabbisogno energetico molto basso o prossimo allo zero. Questo è possibile grazie a ristrutturazioni mirate e all'adozione sempre più diffusa di fonti rinnovabili.

L'Attestato di Prestazione Energetica è obbligatorio in caso di:

- Costruzione di nuovi immobili, ristrutturazioni importanti ed edifici a energia quasi zero
- Ristrutturazioni superiori al 25% e riqualificazione energetica
- Compravendita o locazione di immobili già esistenti

L'Attestato di Prestazione Energetica non è invece obbligatorio per gli edifici di culto, per i fabbricati industriali, agricoli e artigianali che non prevedono impianti termici o di climatizzazione, fabbricati isolati con superficie inferiore ai 50 mq.



**Figura 1:** scala di classificazione energetica degli edifici.

Ai fini della classificazione, la prestazione energetica dell'immobile è espressa attraverso l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile  $EP_{gl, nren}$ , del decreto sui requisiti minimi di cui all'articolo 4, comma 1 del decreto legislativo 192/2005 (di seguito solo "decreto requisiti minimi"). Tale indice tiene conto del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale

ed estiva ( $EPH_{nren}$  ed  $EPC_{nren}$ ), per la produzione di acqua calda sanitaria ( $EPW_{nren}$ ), per la ventilazione ( $EPV_{nren}$ ) e, nel caso del settore non residenziale, per l'illuminazione artificiale ( $EPL_{nren}$ ) e il trasporto di persone o cose ( $EPT_{nren}$ ). Pertanto, esso si determina come somma dei singoli servizi energetici forniti nell'edificio che viene esaminato. L'indice è espresso in kWh/m<sup>2</sup> anno in relazione alla superficie utile di riferimento come definita nel decreto legislativo. La determinazione dell'indice di prestazione energetica per l'illuminazione degli ambienti e dell'indice di prestazione energetica per il trasporto di persone o cose è obbligatoria per gli immobili appartenenti alle categorie E.1, limitatamente a collegi, conventi, case di pena e caserme, E.2, E.3, E.4, E.5, E.6, e E.7, come definite all'articolo 3 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n.412, di seguito D.P.R. 412/93.

L'APE pone nella massima evidenza i servizi energetici presi in considerazione per la valutazione, riportando questa informazione negli appositi spazi e nelle note. Per le finalità si ritiene di fondamentale importanza che l'APE, oltre a fornire l'indice di prestazione energetica globale ( $EP_{gl}$ ), riporti anche informazioni sui contributi dei singoli servizi energetici che concorrono a determinarlo ( $EPH$ ,  $EPW$ ,  $EPV$ ,  $EPC$ ,  $EPL$ ,  $EPT$ ), in conformità con le definizioni e disposizioni del decreto legislativo. Tali indici sono, a loro volta, la sintesi di diversi parametri e caratteristiche dell'edificio e degli impianti.

In particolare:

- $EPH$ , indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, deriva dall'indice della capacità dell'involucro edilizio nel contenere il fabbisogno di energia per il riscaldamento ( $EPH_{nd}$ : indice di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale dell'edificio) e dal rendimento dell'impianto di riscaldamento (  $H$ : rendimento medio stagionale dell'impianto di riscaldamento);
- $EPC$ , indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva, deriva dall'indice della capacità dell'involucro edilizio nel contenere il fabbisogno di energia per il raffrescamento ( $EPC_{nd}$ : indice di prestazione termica utile per la climatizzazione estiva dell'edificio) e dal rendimento

dell'impianto di raffrescamento (C: rendimento medio stagionale dell'impianto di raffrescamento).

È evidente che in entrambe le situazioni, climatizzazione invernale ed estiva, lo stesso indice di prestazione EP si può raggiungere con diverse combinazioni del fabbisogno EP<sub>nd</sub> e dell'efficienza dell'impianto. Per il cittadino, proprietario o conduttore dell'immobile, è importante disporre di queste informazioni al fine di conoscere come la qualità dell'involucro edilizio e degli impianti contribuiscono al raggiungimento del livello di prestazione globale al fine di poter mettere “a fuoco” le più significative carenze energetiche dell'immobile e orientare le priorità di intervento. Poiché nella grande maggioranza degli edifici esistenti, a causa dei maggiori costi e difficoltà di intervento rispetto agli impianti tecnici, le criticità si presentano in riferimento all'involucro edilizio, l'APE di cui alle presenti linee guida dedica particolare attenzione alla prestazione energetica di tale elemento.

I servizi energetici presi in considerazione per il calcolo della prestazione energetica dell'immobile sono la climatizzazione invernale, la climatizzazione estiva, la produzione di acqua calda sanitaria, la ventilazione meccanica e, per le tipologie di edificio sopracitate, l'illuminazione e il trasporto di persone o cose. Il calcolo della prestazione energetica si basa sui servizi effettivamente presenti nell'edificio in oggetto, fatti salvi gli impianti di climatizzazione invernale e, nel solo settore residenziale, di produzione di acqua calda sanitaria che si considerano sempre presenti.

Ai fini della determinazione della prestazione energetica si distingue tra “procedura” e “metodo” di calcolo.

Le procedure di determinazione della prestazione energetica contemplano le attività di reperimento e di scelta dei dati di ingresso, di applicazione del corretto metodo di calcolo, di espressione degli indici di prestazione energetica in termini di energia primaria, e di individuazione degli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica. I metodi di calcolo sono gli algoritmi, stabiliti dalle norme tecniche di riferimento, utilizzati per calcolare gli indicatori numerici di prestazione energetica richiesti, a partire dagli opportuni dati di ingresso. La disponibilità di procedure e metodi di calcolo standardizzati per la

determinazione della prestazione energetica degli immobili sul territorio nazionale favorisce:

- la massima omogeneità applicativa;
- una più efficace e corretta informazione dei cittadini, anche ai fini del raffronto dei risultati;
- una maggiore efficacia dell'azione di monitoraggio e controllo;
- una più ampia e libera circolazione dell'offerta professionale, minimizzando i costi per gli utenti.

Il decreto requisiti minimi, individua parametri, indici di prestazione energetica e rendimenti necessari a descrivere e verificare la qualità energetica dell'immobile. Tali indicatori sono calcolati nel rispetto delle disposizioni e dei metodi del suddetto decreto, e degli ulteriori metodi di calcolo previsti dal presente decreto. Ai fini della redazione dell'APE e dell'assegnazione della classe energetica, l'indice di prestazione energetica  $EP_{gl, nren}$ , esprime, come già ricordato, la quantità annua di energia primaria non rinnovabile necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi a un uso standard dell'edificio, divisa per la superficie utile dell'edificio ed espresso in kWh/m<sup>2</sup> anno. Tale indice tiene conto del fabbisogno di energia per la climatizzazione invernale ed estiva, per la ventilazione, per la produzione di acqua calda sanitaria, per l'illuminazione e per il trasporto di persone o cose nonché dell'energia ausiliaria dei sistemi impiantistici, inclusi i sistemi di cogenerazione, teleriscaldamento e valorizzazione delle fonti rinnovabili. Oltre all'indice globale  $EP_{gl, nren}$ , sono valutati gli indici di prestazione energetica parziali, relativi alle prestazioni energetiche dei singoli servizi presenti nell'edificio come definiti nel decreto requisiti minimi.

La procedura di calcolo di progetto o di calcolo standardizzato prevede la valutazione della prestazione energetica a partire dai dati di ingresso relativi:

- al clima e all'uso standard dell'edificio;
- alle caratteristiche dell'edificio e degli impianti, così come rilevabili dal progetto energetico, previa verifica di rispondenza del costruito al progetto.

La procedura di calcolo da rilievo sull'edificio prevede la valutazione della prestazione energetica a partire dai dati di ingresso rilevati direttamente sull'edificio esistente, sulla base dei quali si esegue la valutazione della prestazione energetica secondo l'opportuno metodo di calcolo. In questo caso le modalità di reperimento dei dati di ingresso relativi all'edificio possono essere:

- basate su procedure di rilievo, supportate anche da indagini strumentali, sull'edificio e/o sui dispositivi impiantistici effettuate secondo le normative tecniche di riferimento vigenti, nazionali o internazionali, o, in mancanza di tali norme, dalla letteratura tecnico-scientifica;
- ricavate per analogia costruttiva con altri edifici e sistemi impiantistici coevi, integrate da banche dati o abachi nazionali, regionali o locali. Nell'ambito di tale procedura sono utilizzabili metodi di calcolo semplificati, nel rispetto dei limiti indicati nel decreto.

Ai fini della redazione dell'APE, sono rispettati i seguenti criteri per l'applicazione delle procedure di calcolo:

- in caso di edifici di nuova costruzione o di edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni importanti, si applica la procedura di calcolo di progetto o di calcolo standardizzato;
- per gli edifici esistenti non sottoposti a ristrutturazione importante, ferma restando la possibilità di avvalersi della procedura di calcolo di progetto o di calcolo standardizzato.



## **1.2. Politiche d'incentivazione**

Per l'esecuzione degli interventi citati nel paragrafo 1 e per promuovere l'efficienza energetica, il Ministero dello Sviluppo Economico prevede il riconoscimento di alcuni incentivi, che possono andare sotto forma di detrazioni fiscali o altro.

In particolare, per quanto riguarda le detrazioni fiscali, la legge riconosce uno sconto che può arrivare fino al 75% sulle imposte dovute per gli interventi di riqualificazione energetica degli edifici.

Altro strumento con cui si incentiva l'efficienza energetica è il riconoscimento del Conto Termico, rivolto a pubbliche amministrazioni, imprese e privati, che permette di promuovere l'efficienza energetica privilegiando la produzione di fonti rinnovabili.

Infine, con il sistema dei Certificati Bianchi si individuano bonus per le società di produzione e distribuzione di energia elettrica e gas naturale che abbiano conseguito alcuni obiettivi di risparmio energetico.

Per gli interventi di riqualificazione energetica realizzati nelle singole unità immobiliari sono previste aliquote di detrazione differenziate in base all'intervento realizzato, al fine di legare maggiormente il beneficio economico al risparmio energetico conseguibile.

Per gli interventi di riqualificazione energetica realizzati nelle parti comuni degli edifici condominiali è invece confermato l'incremento dell'aliquota di detrazione al 70%, per interventi che interessino almeno il 25% dell'involucro edilizio e al 75% per interventi volti al miglioramento della prestazione energetica invernale ed estiva e che conseguano la "qualità media" dell'involucro, con tetto massimo di 40.000 euro per ciascuna unità immobiliare.

Per tutti gli interventi è prevista la possibilità di optare per la cessione del credito ai fornitori che hanno effettuato gli interventi ovvero ad altri soggetti privati. La cessione del credito ad istituti di credito e ad intermediari finanziari è limitata ai soggetti incapienti.

Tra le altre novità introdotte, negli interventi ammissibili è ora ricompresa l'installazione di microcogeneratori e inoltre è prevista l'istituzione, nell'ambito del Fondo nazionale per l'efficienza energetica, di una sezione dedicata alla

promozione dell'ecoprestito tramite il rilascio di garanzie su finanziamenti concessi da istituti di credito a cittadini per la riqualificazione energetica degli immobili.

Con la pubblicazione in Gazzetta ufficiale sono diventati pienamente operativi i decreti riguardanti il Superbonus e il Sismabonus al 110%, introdotti dal decreto Rilancio.

L'obiettivo è favorire gli interventi di efficientamento energetico, nonché l'installazione di impianti fotovoltaici o delle infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici negli edifici.

Il Superbonus è uno strumento attivato per rilanciare rapidamente il comparto dell'edilizia e rispondere alle importanti sfide climatiche ed ambientali previste per il settore civile dal Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima.

Il Superbonus che incentiva gli interventi di riqualificazione energetica e sismica di edifici residenziali prevede un'aliquota di detrazione del 110% per le spese sostenute entro il 30 giugno 2022, da dividere in 5 anni, nel limite massimo di predefiniti valori di detrazione variabili in funzione della grandezza dell'edificio e della tipologia di intervento (**Tabella 3**).

Sono ammessi alla misura:

- gli edifici ad uso residenziale monofamiliari e condomini, nonché gli spogliatoi di società sportive;
- i soggetti quali persone fisiche, condomini, istituti autonomi case popolari o enti similari, cooperative di abitazione a proprietà indivisa, organizzazioni non lucrative di utilità sociale, associazioni e società sportive dilettantistiche;
- gli interventi ritenuti prioritari (trainanti) e secondari (trainati), quest'ultimi solo se realizzati congiuntamente con i primi. Gli interventi energetici trainanti sono quelli di isolamento termico di superfici opache oltre il 25% della superficie disperdente, con materiali sostenibili, e di sostituzione degli impianti di climatizzazione; quelli trainati sono invece relativi all'installazione di sistemi building automation, infissi, schermature solari, scaldacqua a pompa di calore, eliminazione delle

barriere architettoniche, impianti fotovoltaici con sistemi di accumulo, infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici.

Sono, invece, esclusi dalla misura le unità immobiliari appartenenti alle categorie catastali A/1, A/8 e A/9 non aperte al pubblico.

Il Fondo Nazionale per l'efficienza energetica favorisce gli interventi necessari per il raggiungimento degli obiettivi nazionali di efficienza energetica, promuovendo il coinvolgimento di istituti finanziari, nazionali e comunitari, e investitori privati sulla base di un'adeguata condivisione dei rischi.

Il Fondo sostiene gli interventi di efficienza energetica realizzati dalle imprese, ivi comprese le ESCO, e dalla Pubblica Amministrazione, su immobili, impianti e processi produttivi.

Nello specifico gli interventi sostenuti devono riguardare:

- la riduzione dei consumi di energia nei processi industriali;
- la realizzazione e l'ampliamento di reti per il teleriscaldamento;
- l'efficientamento di servizi ed infrastrutture pubbliche, inclusa l'illuminazione pubblica;
- la riqualificazione energetica degli edifici.

Gli interventi di efficientamento energetico permettono di portare in detrazione dalle imposte (Irpef o Ires) una parte consistente delle spese sostenute. La detrazione va ripartita in dieci rate annuali di pari importo e le spese ammesse in detrazione comprendono sia i costi per i lavori relativi all'intervento, sia i costi per le prestazioni professionali necessarie per realizzare l'intervento stesso e acquisire la certificazione energetica richiesta.

Fruiscono della detrazione del 65% l'installazione di pannelli solari per la produzione dell'acqua calda, la sostituzione di boiler tradizionali con sistemi a pompa di calore, la sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con caldaie a condensazione di classe superiore alla A e i relativi impianti di regolazione, l'acquisto e installazione di micro cogeneratori e l'acquisto e l'installazione di dispositivi multimediali per il controllo da remoto degli impianti di riscaldamento e climatizzazione (**Tabella 1**).

Beneficiano, invece, della detrazione del 50% l'acquisto e l'installazione di caldaie a biomassa e di caldaie a condensazione di classe A e l'acquisto e la posa di finestre, infissi e schermature solari (**Tabella 1**).

Le detrazioni fiscali per efficientamento energetico sono un apprezzabile aiuto fiscale che agevola gli interventi di riqualificazione e le ristrutturazioni a fine energetico. Gli incentivi per l'efficienza energetica sfruttano tre strumenti:

- Detrazioni fiscali.

Le detrazioni per interventi di ristrutturazione e di efficientamento energetico degli edifici possono arrivare fino al 75%. Per questo tipo di detrazioni fiscali si parla comunemente di "ecobonus". La legge di Bilancio del 27 dicembre 2017, n. 205, ha prorogato le detrazioni fiscali per gli interventi di riqualifica energetica degli immobili.

Chi può beneficiare dell'ecobonus? Chi ha sostenuto spese entro il 31 dicembre 2018 nel caso di interventi su singole unità immobiliari e chi ha sostenuto spese entro il 31 dicembre 2012 nel caso di interventi sulle parti comuni degli edifici.

- Conto termico 2.0.

Il Conto Termico 2.0 si rivolge a pubbliche amministrazioni, imprese e privati. Nasce per promuovere l'incremento della produzione di energia da fonti rinnovabili e, di conseguenza, l'incremento dell'efficienza energetica. Un esempio per risparmiare sul consumo energetico comunale è l'efficientamento energetico illuminazione pubblica, il cosiddetto relamping, che consente di ottimizzare il dispendio energetico di circa il 20-30%. Per beneficiare del Conto Termico 2.0, imprese e privati possono accedere a fondi per 900 milioni di euro per anno.

- Certificati bianchi.

I certificati bianchi sono noti più propriamente come Titoli di Efficienza Energetica (TEE) e sono titoli che certificano il risparmio energetico. Dal momento che sono titoli negoziabili per cui è previsto un contributo economico,

rappresentano un forte incentivo a ridurre i consumi energetici da parte dei distributori di energia elettrica e di gas naturale. Il risparmio è espresso in TEP, Tonnellate Equivalenti di Petrolio risparmiate. I certificati bianchi riguardano quattro tipi di interventi:

- Risparmio di energia elettrica;
- Risparmio di gas naturale;
- Risparmio di altri combustibili per autotrazione;
- Risparmio di altri combustibili non per autotrazione;

Definizione intervento	Definizione intervento	Riferimento normativo	Requisiti minimi	Detrazione massima ammissibile	Spesa massima ammissibile	Aliquota detrazione	Ripartizione annuale detrazioni
Riqualificazione Globale (Comma 344)	Riqualificazione Energetica Globale	Comma 344 art. 1 Legge 296/2006	Allegato A del D.M. 11/03/2008 come modificato dal D.M. 26/01/2010	100.000,00 €	-	65%	10
Interventi sull'involucro edilizio (Comma 345)	Coibentazione strutture opache verticali, e orizzontali (coperture e pavimenti)	Comma 345 art. 1 Legge 296/2006	Allegato E Decreto Requisiti Tecnici	60.000,00 €	-	65%	10
	Sostituzione di Infissi e Porte di Ingresso anche in combinazione con Sistemi di Oscuramento	Comma 345 art. 1 Legge 296/2006		60.000,00 €	-	50%	10
	Installazione di Schermature Solari Mobili o di Sistemi di Oscuramento	Comma 2 lettera B articolo 14 Decreto Legge 63/2013		60.000,00 €	-	50%	10
	interventi sulle parti comuni che riguardano più del 25% della sup. disperdente	Comma 2 quater B articolo 14 Decreto Legge 63/2013		-	40.000,00 €	70%	10
	interventi sulle parti comuni che riguardano più del 25% della sup. disperdente che conseguono almeno le qualità medie delle tabelle 3 e 4 del Decreto Requisiti Minimi (26/06/2015 Linee guida per la certificazione energetica"	Comma 2 quater B articolo 14 Decreto Legge 63/2013		-	40.000,00 €	75%	10
	interventi dei due punti precedenti realizzati in zone sismiche 1, 2 e 3 finalizzati alla riduzione del rischio sismico (passaggio a 1 classe inferiore)	Comma 2 quater B articolo 14 Decreto Legge 63/2013		-	136.000,00 €	80%	10
	interventi dei due punti precedenti realizzati in zone sismiche 1, 2 e 3 finalizzati alla riduzione del rischio sismico (passaggio a 2 classi inferiori)	Comma 2 quater B articolo 14 Decreto Legge 63/2013		-	136.000,00 €	85%	10
Bonus facciate (C. 220 art. 1 Legge 160/2019)	interventi sulle strutture opache verticali delle facciate esterne influenti dal punto di vista energetico o che interessino l'intonaco per oltre il 10% della superficie disperdente lorda complessiva degli edifici esistenti ubicati nelle zona A o B ai sensi del D.M. n. 1444 02/04/1968	Comma 220 articolo 1 Legge 160/2019	Allegato E Decreto Requisiti Tecnici	-	-	90%	10
Collettori solari (Comma 346)	Installazione di collettori solari termici	Comma 346 art. 1 Legge 296/2006	Articolo 3 + Allegato H Decreto Requisiti Tecnici	30.000,00 €	-	65%	10

Tabella 1: Decreto efficienza energetica 2020

Definizione intervento	Definizione intervento	Riferimento normativo	Requisiti minimi	Detrazione massima ammissibile	Spesa massima ammissibile	Aliquota detrazione	Ripartizione annuale detrazioni
Impianti di climatizzazione invernale e produzione di acqua calda sanitaria (Comma 347)	Sostituzione integrale o parziale di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di Caldaie a condensazione con efficienza energetica stagionale per il riscaldamento d'ambiente maggiore o uguale al 90% (Classe A o superiore)	Comma 347 art. 1 Legge 296/2006	Articolo 4 e 10 Decreto Requisiti Tecnici	30.000,00 €	-	50%	10
	intervento del punto superiore e contestuale installazione di sistemi di termoregolazione in classe V, VI e VIII della comunicazione della commissione 2014C 207/2	Comma 347 art. 1 Legge 296/2006	Articolo 4 e 10 Decreto Requisiti Tecnici	30.000,00 €	-	65%	10
	Sostituzione integrale o parziale di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di generatori di aria calda a condensazione	Comma 347 art. 1 Legge 296/2006	Articolo 4 e 10 Decreto Requisiti Tecnici	30.000,00 €	-	65%	10
	Sostituzione integrale o parziale di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di pompe di calore ad alta efficienza	Sostituzione di impianti termici con nuovi dotati di Pompe di Calore o di Scaldacqua in Pompa di Calore	Articolo 6 e 10 + Allegato F Decreto Requisiti Tecnici	30.000,00 €	-	65%	10
	Sostituzione integrale o parziale di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di apparecchi ibridi	Comma 347 art. 1 Legge 296/2006	Articolo 6 e 10 Decreto Requisiti Tecnici	30.000,00 €	-	65%	10
	Sostituzione funzionale, integrale o parziale, con impianti dotati di micro-cogeneratori di potenza elettrica inferiore a 50 kWe	Comma 1 articolo 1 Decreto Legge 63/2013	Articolo 7 Decreto Requisiti Tecnici	100.000,00 €	-	65%	10
	Sostituzione di scaldacqua tradizionali con scaldacqua in pompa di calore dedicati alla produzione di acqua calda sanitaria	Comma 4 articolo 4 Decreto Legge 201/2011	Articolo 8 Decreto Requisiti Tecnici	30.000,00 €	-	65%	10
	Installazione di impianti di climatizzazione invernale dotati di generatori di calore alimentati da biomasse combustibili	Comma 2bis articolo 1 Decreto Legge 63/2013	Articolo 9 e 10 + Allegato G Decreto Requisiti Tecnici	30.000,00 €	-	50%	10
Building Automation (C.88, art. 1, Legge 208/2015)	Installazione di Sistemi di Building Automation	Comma 88 articolo 1 Legge 208/2015	Articolo 11 Decreto Requisiti Tecnici	15.000,00 €	-	65%	10

Tabella 2: Decreto efficienza energetica 2020

Definizione intervento	Definizione intervento	Riferimento normativo	Requisiti minimi	Detrazione massima ammissibile	Spesa massima ammissibile	Aliquota detrazione	Ripartizione annuale detrazioni
SuperBonus (articolo 119, Legge 77/2020)	interventi di isolamento delle superfici opache verticali ed orizzontali che interessano l'involucro dell'edificio con incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda dell'edificio. (condominio da 2 a 8 unità)	Comma 1 lettera A articolo 119 Legge 77/2020	Articolo 12 + Allegato E Decreto Requisiti Tecnici	-	40.000,00 €	110%	5
	interventi di isolamento delle sup..... (condominio da più di 9 unità)	Comma 1 lettera A articolo 119 Legge 77/2020	Articolo 12 + Allegato E Decreto Requisiti Tecnici	-	30.000,00 €	110%	5
	interventi di isolamento delle sup.....(unifamiliare)	Comma 1 lettera A articolo 119 Legge 77/2020	Articolo 12 + Allegato E Decreto Requisiti Tecnici	-	50.000,00 €	110%	5
	Installazione di collettori solari termici (condominio da 2 a 8 unità)	Comma 1 lettera B articolo 119 Legge 77/2020	Articolo 3 + Allegato H Decreto Requisiti Tecnici	-	20.000,00 €	110%	5
	Installazione di collettori solari termici (condominio da più di 9 unità)	Comma 1 lettera B articolo 119 Legge 77/2020	Articolo 3 + Allegato H Decreto Requisiti Tecnici	-	15.000,00 €	110%	5
	Installazione di collettori solari termici (unifamiliare)	Comma 1 lettera C articolo 119 Legge 77/2020	Articolo 3 + Allegato H Decreto Requisiti Tecnici	-	30.000,00 €	110%	5
	Sostituzione di scaldacqua tradizionali con scaldacqua in pompa di calore dedicati alla produzione di acqua calda sanitaria (condominio da 2 a 8 unità)	Comma 1 lettere B e C articolo 119 Legge 77/2020	Articolo 8 Decreto Requisiti Tecnici	-	20.000,00 €	110%	5
	Sostituzione di scaldacqua tradizionali con scaldacqua in pompa di calore dedicati alla produzione di acqua calda sanitaria (condominio da più di 9 unità)	Comma 1 lettere B e C articolo 119 Legge 77/2020	Articolo 8 Decreto Requisiti Tecnici	-	15.000,00 €	110%	5
	Sostituzione di impianti di climatizzazione invernali con caldaie a biomassa con valori di classe 5 stelle della certificazione Ambientale (unifamiliare)	Comma 1 lettera C articolo 119 Legge 77/2020	Articolo 9 e 10 + Allegato G Decreto Requisiti Tecnici	-	30.000,00 €	110%	5
	Allaccio a sistemi di teleriscaldamento efficiente (condominio da 2 a 8 unità)	Comma 1 lett. B art. 119 Legge 77/2020	Comma 1 lett. B art. 119 Legge 77/2020	-	20.000,00 €	110%	5
	Allaccio a sistemi di teleriscaldamento efficiente (condominio da più di 9 unità)	Comma 1 lett. B art. 119 Legge 77/2020	Comma 1 lett. B art. 119 Legge 77/2020	-	15.000,00 €	110%	5
	Allaccio a sistemi di teleriscaldamento efficiente (unifamiliare)	Comma 1 lett. B art. 119 Legge 77/2020	Comma 1 lett. B art. 119 Legge 77/2020	-	30.000,00 €	110%	5

Tabella 3: Decreto efficienza energetica 2020



## **2. Il decreto 110 %**

Il decreto rilancio, nell'ambito delle misure urgenti in materia di salute, sostegno al lavoro e all'economia, nonché di politiche sociali connesse all'emergenza epidemiologica da Covid-19, ha incrementato al 110 % l'aliquota di detrazione delle spese sostenute dal 1° luglio 2020 al 31 Dicembre 2022, a fronte di specifici interventi in ambito di efficienza energetica, di interventi di riduzione del rischio sismico, di installazione di impianti fotovoltaici nonché delle infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici negli edifici.

La legge di bilancio 2021 (legge n. 178 del 30 dicembre 2020) ha prorogato il Superbonus al 30 giugno 2022 (e, in determinate situazioni, al 31 dicembre 2022 o al 30 Giugno 2023) e introdotto altre rilevanti modifiche alla disciplina che regola l'agevolazione.

Le disposizioni sul Superbonus consentono di fruire di una detrazione del 110 % delle spese e si aggiungono a quelle già vigenti che disciplinano le detrazioni dal 50 al 85 % delle spese spettanti per gli interventi di:

- recupero del patrimonio edilizio (sismabonus);
- riqualificazione energetica degli edifici (ecobonus), in base all'articolo 14 del decreto-legge n. 63/2013. Per questi interventi, attualmente sono riconosciute detrazioni più elevate quando si interviene sulle parti comuni dell'involucro opaco per più del 25 % della superficie disperdente o quando con questi interventi si consegue la classe media dell'involucro nel comportamento invernale ed estivo, ovvero quando gli interventi sono realizzati sulle parti comuni di edifici ubicati nelle zone sismiche 1, 2 o 3 e sono finalizzati congiuntamente alla riqualificazione energetica e alla riduzione del rischio sismico.

Altra importante novità, introdotta dal decreto Rilancio, è la possibilità generalizzata di optare, in luogo della fruizione diretta della detrazione, per un contributo anticipato sotto forma di sconto dai fornitori dei beni o servizi (sconto in fattura) o, in alternativa, per la cessione del credito corrispondente alla detrazione spettante.

Tale possibilità, infatti, riguarda non solo gli interventi ai quali si applica il superbonus ma anche quelli:

- di recupero del patrimonio edilizio;
- di recupero della facciata degli edifici esistenti (bonus facciate);
- per l'installazione di colonnine per la ricarica dei veicoli elettrici.

Trattandosi di una normativa di particolare favore, in aggiunta agli adempimenti previsti per le già menzionate detrazioni, ai fini dell'esercizio dell'opzione per lo sconto o cessione, il contribuente deve acquisire anche:

- il visto di conformità dei dati relativi alla documentazione che attesta la sussistenza dei presupposti che danno diritto alla detrazione d'imposta, rilasciato dagli intermediari abilitati alla trasmissione telematica delle dichiarazioni (dottori commercialisti, ragionieri, periti commerciali e consulenti del lavoro) nonché dai CAF;
- la asseverazione tecnica relativa agli interventi di efficienza energetica e di riduzione del rischio sismico – da parte, rispettivamente, dei tecnici abilitati al rilascio delle certificazioni energetiche e dai professionisti incaricati della progettazione strutturale, direzione dei lavori delle strutture e collaudo statico per gli interventi finalizzati alla riduzione del rischio sismico – che certifichi il rispetto dei requisiti tecnici necessari ai fini delle agevolazioni fiscali e la congruità delle spese sostenute in relazione agli interventi agevolati, in accordo ai previsti decreti ministeriali.

## **2.1. In cosa consiste l'agevolazione**

L'agevolazione fiscale consiste in detrazioni dall'imposta lorda ed è concessa quando si eseguono interventi che aumentano il livello di efficienza energetica degli edifici esistenti o interventi antisismici.

In particolare, il Superbonus spetta, a determinate condizioni, per le spese sostenute per interventi effettuati su parti comuni di edifici, su unità immobiliari funzionalmente indipendenti e con uno o più accessi autonomi dall'esterno, site all'interno di edifici plurifamiliari, nonché sulle singole unità immobiliari.

Inoltre, le detrazioni più elevate sono riconosciute per le spese documentate e rimaste a carico del contribuente, sostenute dal 1° luglio 2020 al 30 giugno 2022, per le seguenti tipologie di interventi (“trainanti”) di:

- isolamento termico delle superfici opache verticali, orizzontali e inclinate che interessano l’involucro degli edifici, compresi quelli unifamiliari, con un’incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda dell’edificio medesimo o dell’unità immobiliare sita all’interno di edifici plurifamiliari che sia funzionalmente indipendente e disponga di uno o più accessi autonomi dall’esterno. Gli interventi per la coibentazione del tetto rientrano nella disciplina agevolativa, senza limitare il concetto di superficie disperdente al solo locale sottotetto eventualmente esistente;
- sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti centralizzati per il riscaldamento, e/o il raffrescamento e/o la fornitura di acqua calda sanitaria sulle parti comuni degli edifici, o con impianti per il riscaldamento, e/o il raffrescamento e/o la fornitura di acqua calda sanitaria sugli edifici unifamiliari o sulle unità immobiliari site all’interno di edifici plurifamiliari che siano funzionalmente indipendenti e dispongano di uno o più accessi autonomi dall’esterno;
- interventi antisismici di cui ai commi da 1-bis a 1-septies dell’articolo 16 del decreto-legge n. 63/2013 (Sismabonus).

Per gli interventi sulle parti comuni degli edifici effettuati dai condomini nonché dalle persone fisiche, al di fuori dell’esercizio di attività di impresa, arte o professione, con riferimento ad edifici composti da due a quattro unità immobiliari distintamente accatastate posseduti da un unico proprietario o in comproprietà, per i quali alla data del 30 giugno 2022 siano stati effettuati lavori per almeno il 60% dell’intervento complessivo, il Superbonus spetta anche per le spese sostenute entro il 31 dicembre 2022.

Per gli interventi effettuati dagli istituti autonomi case popolari (IACP), per i quali alla data del 31 dicembre 2022 siano stati effettuati lavori per almeno il 60% dell’intervento complessivo, il Superbonus spetta anche per le spese sostenute entro il 30 giugno 2023.

Tra gli edifici che possono accedere alle detrazioni sono compresi anche quelli privi di attestato di prestazione energetica perché sprovvisti di copertura, di uno o più muri perimetrali, o di entrambi, purché al termine degli interventi, che devono comprendere anche quelli di isolamento termico (anche in caso di demolizione e ricostruzione o di ricostruzione su sedime esistente), raggiungano una classe energetica in fascia A.

Il Superbonus spetta anche per le seguenti ulteriori tipologie di interventi (“trainati”), a condizione che siano eseguiti congiuntamente con almeno uno degli interventi di isolamento termico o di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale precedentemente elencati:

- di efficientamento energetico rientranti nell’ecobonus, nei limiti di spesa previsti dalla legislazione vigente per ciascun intervento (**Tabella 4**);
- quelli finalizzati alla eliminazione delle barriere architettoniche, per favorire la mobilità interna ed esterna all’abitazione alle persone portatrici di handicap in situazione di gravità e anche se effettuati in favore di persone di età superiore a sessantacinque anni (per le spese sostenute dal 1° gennaio 2021);
- l’installazione di infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici negli edifici.

Il Superbonus spetta, infine, anche per i seguenti interventi trainati, a condizione che siano eseguiti congiuntamente con almeno uno degli interventi di isolamento termico o di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale o antisismici, precedentemente elencati:

- l’installazione di impianti solari fotovoltaici connessi alla rete elettrica;
- impianti solari fotovoltaici su strutture pertinenziali agli edifici  
l’installazione contestuale o successiva di sistemi di accumulo integrati negli impianti solari fotovoltaici agevolati.

Il Superbonus non spetta per interventi effettuati su unità immobiliari residenziali appartenenti alle categorie catastali A1 (abitazioni signorili), A8 (ville), nonché A9 (castelli) per le unità immobiliari non aperte al pubblico.

Per gli interventi diversi da quelli che danno diritto al Superbonus restano applicabili le agevolazioni già previste dalla legislazione vigente in materia di riqualificazione energetica.

Si tratta, in particolare, delle detrazioni spettanti per:

- interventi di riqualificazione energetica rientranti nell'ecobonus non effettuati congiuntamente a quelli che danno diritto al Superbonus, per i quali la detrazione attualmente prevista va dal 50% al 85% delle spese sostenute, in base alla tipologia di interventi effettuati, da ripartire in 10 quote annuali (**Tabella 4**);
- l'installazione di impianti solari fotovoltaici, diversi da quelli che danno diritto al Superbonus, che rientrano, invece, tra gli interventi finalizzati al risparmio energetico, nonché dell'installazione contestuale o successiva dei sistemi di accumulo funzionalmente collegati agli impianti solari fotovoltaici stessi. Ai sensi di tale ultimo articolo, la detrazione è attualmente pari al 50% delle spese sostenute da ripartire in 10 quote annuali;
- l'installazione di infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici negli edifici, diverse da quelle che danno diritto al Superbonus, pari al 50% delle spese sostenute, da ripartire tra gli aventi diritto in 10 quote annuali di pari importo.

Se l'intervento realizzato ricade in diverse categorie agevolabili, il contribuente potrà avvalersi, per le medesime spese, di una sola delle predette agevolazioni, rispettando gli adempimenti specificamente previsti in relazione alla stessa.

Qualora, invece, si realizzino più interventi riconducibili a diverse fattispecie agevolabili, il contribuente potrà fruire di ciascuna agevolazione, nell'ambito di ciascun limite di spesa, a condizione che siano distintamente contabilizzate le spese riferite ai diversi interventi e siano rispettati gli adempimenti specificamente previsti in relazione a ciascuna detrazione.

Tipo di intervento		detrazione massima
riqualificazione energetica di edifici esistenti (tali interventi non sono ammessi al Superbonus)		100.000 euro
su involucro di edifici esistenti (per esempio, pareti, finestre, tetti e pavimenti)		60.000 euro
installazione di pannelli solari per la produzione di acqua calda		60.000 euro
sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di caldaie a condensazione ad aria o ad acqua <b>dal 2008</b> , sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di pompe di calore ad alta efficienza o impianti geotermici a bassa entalpia <b>dal 2012</b> , sostituzione di scaldacqua tradizionali con scaldacqua a pompa di calore dedicati alla produzione di acqua calda sanitaria		30.000 euro
<b>dal 2015</b> , acquisto e posa in opera di schermature solari		60.000 euro
<b>dal 2015</b> , acquisto e posa in opera di impianti di climatizzazione invernale dotati di generatori di calore alimentati da biomasse combustibili		30.000 euro
<b>dal 2016</b> , acquisto, installazione e messa in opera di dispositivi multimediali per il controllo a distanza degli impianti di riscaldamento, di produzione di acqua calda, di climatizzazione delle unità abitative	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 15.000 euro, per interventi effettuati dal 6 ottobre 2020</li> <li>• non è previsto un limite massimo di detrazione per interventi effettuati prima del 6 ottobre 2020</li> </ul>	
<b>dal 2018</b> , acquisto e posa in opera di micro-cogeneratori		100.000 euro
interventi sull'involucro degli edifici per i quali spetta la detrazione del 70 o 75%	non è previsto un limite massimo di detrazione ma un ammontare complessivo delle spese, che non deve essere superiore a <b>40.000 euro</b> moltiplicato per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio	
interventi su parti comuni di edifici per i quali spetta la detrazione dell'80 o 85%	non è previsto un limite massimo di detrazione ma un ammontare complessivo delle spese, che non deve essere superiore a 136.000 euro moltiplicato per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio (tali interventi non sono ammessi al Superbonus)	

**Tabella 4:** Le detrazioni irpef e ired per gli interventi di efficientamento energetico.

## 2.2. Chi può usufruirne

- dai condomini, nonché con riferimento alle spese sostenute dal 1° gennaio 2021, dalle persone fisiche, al di fuori dell'esercizio di attività di impresa, arte o professione, per interventi su edifici composti da due a quattro unità immobiliari distintamente accatastate, anche se posseduti da un unico proprietario o in comproprietà da più persone fisiche.

Per gli interventi sulle parti comuni degli edifici per i quali alla data del 30 giugno 2022 siano stati effettuati lavori per almeno il 60%

dell'intervento complessivo, la detrazione del 110% spetta anche per le spese sostenute entro il 31 dicembre 2022;

- dalle persone fisiche, al di fuori dell'esercizio di attività di impresa, arti e professioni sulle singole unità immobiliari;
- dagli Istituti autonomi case popolari (IACP), comunque denominati, nonché dagli enti aventi le stesse finalità sociali dei predetti Istituti, istituiti nella forma di società che rispondono ai requisiti della legislazione europea in materia di "in house providing". In particolare, la detrazione spetta per interventi realizzati su immobili, di loro proprietà o gestiti per conto dei Comuni, adibiti a edilizia residenziale pubblica.

Per tali soggetti il Superbonus spetta anche per le spese sostenute dal 1° gennaio 2022 al 31 dicembre 2022 e, per gli interventi per i quali a tale data siano stati effettuati lavori per almeno il 60% dell'intervento complessivo, anche per le spese sostenute entro il 30 giugno 2023;

- dalle cooperative di abitazione a proprietà indivisa. La detrazione spetta per interventi realizzati su immobili dalle stesse posseduti e assegnati in godimento ai propri soci;
- dalle Organizzazioni non lucrative di utilità sociale, dalle organizzazioni di volontariato, e dalle associazioni di promozione sociale iscritte nei registri nazionali, regionali e delle provincie autonome di Trento e Bolzano;
- dalle associazioni e società sportive dilettantistiche.

## **2.3. Interventi principali**

### **2.3.1. Interventi di isolamento termico degli involucri edilizi**

Il Superbonus spetta nel caso di interventi di isolamento termico delle superfici opache verticali, orizzontali (coperture, pavimenti) e inclinate delimitanti il volume riscaldato, verso l'esterno, verso vani non riscaldati o il terreno che interessano l'involucro dell'edificio, anche unifamiliare o dell'unità immobiliare sita all'interno di edifici plurifamiliari che sia funzionalmente indipendente e disponga di uno o più accessi autonomi dall'esterno, con un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda dell'edificio medesimo e che rispettano i requisiti di trasmittanza "U" (potenza termica dispersa per m<sup>2</sup> di superficie e per

grado Kelvin di differenza di temperatura), espressa in  $W/m^2K$ , definiti dal decreto del Ministro dello Sviluppo Economico di concerto con il Ministro dell'Economia e delle Finanze e del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti del 6 agosto 2020.

Gli interventi per la coibentazione del tetto rientrano nella disciplina agevolativa, senza limitare il concetto di superficie disperdente al solo locale sottotetto eventualmente esistente.

I materiali isolanti utilizzati devono rispettare, inoltre, i criteri ambientali minimi di cui al decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare 11 ottobre 2017.

Per tali interventi il Superbonus è calcolato su un ammontare complessivo delle spese non superiore a:

- 50.000 euro, per gli edifici unifamiliari o per le unità immobiliari funzionalmente indipendenti site all'interno di edifici plurifamiliari;
- 40.000 euro, moltiplicato per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio, se lo stesso è composto da due a otto unità immobiliari;
- 30.000 euro, moltiplicato per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio, se lo stesso è composto da più di otto unità immobiliari.

Questo implica che, per esempio, nel caso in cui l'edificio sia composto da 15 unità immobiliari, il limite di spesa ammissibile alla detrazione è pari a 530.000 euro, calcolato moltiplicando 40.000 euro per 8 (320.000 euro) e 30.000 euro per 7 (210.000 euro).





**Figura 2:** Isolamento a cappotto.

### **2.3.2. Sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale sulle parti comuni**

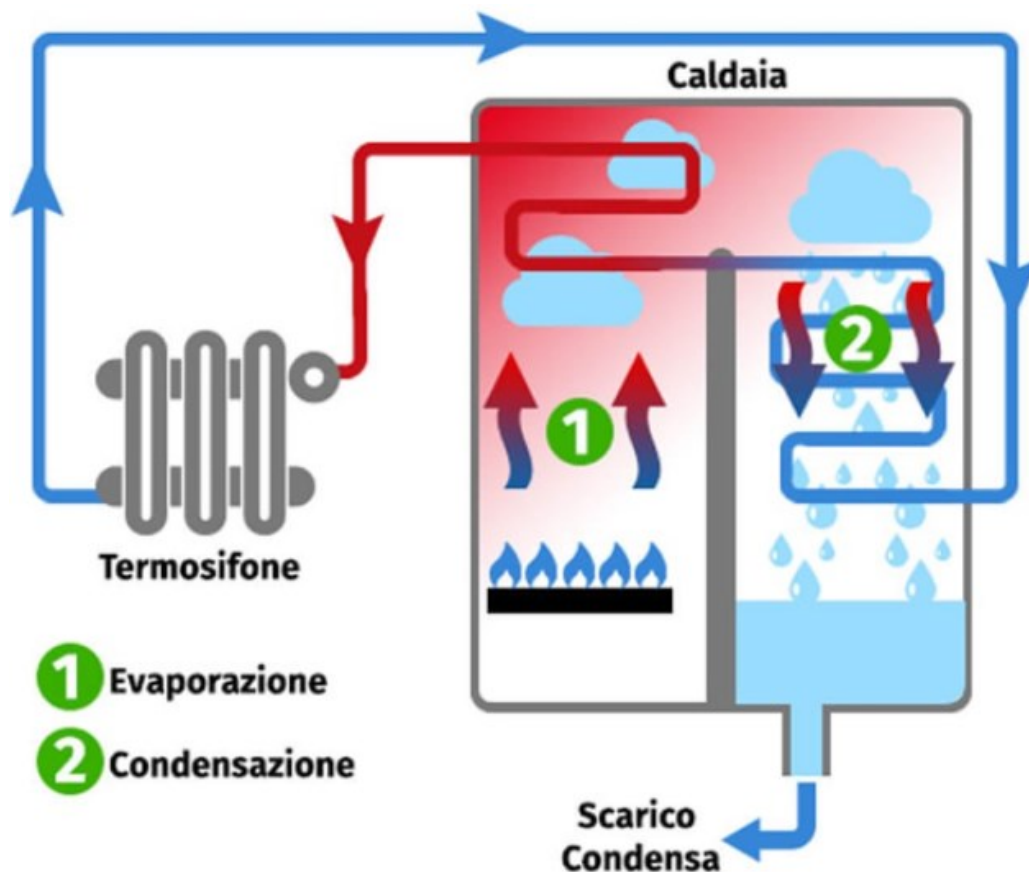
Si tratta degli interventi effettuati sulle parti comuni degli edifici, di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti centralizzati destinati al riscaldamento, al raffrescamento nel caso che si installino pompe di calore reversibili e alla produzione di acqua calda sanitaria, dotati di:

- generatori di calore a condensazione, con efficienza almeno pari alla classe A;
- generatori a pompe di calore, ad alta efficienza, anche con sonde geotermiche;
- apparecchi ibridi, costituiti da pompa di calore integrata con caldaia a condensazione, assemblati in fabbrica ed espressamente concepiti dal fabbricante per funzionare in abbinamento tra loro;
- sistemi di microgenerazione, che conducano a un risparmio di energia primaria (PES);
- collettori solari.

La detrazione, che spetta anche per le spese relative allo smaltimento e alla bonifica dell'impianto sostituito, è calcolata su un ammontare complessivo delle spese non superiore a:

- 20.000 euro, moltiplicato per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio, per gli edifici composti fino a otto unità immobiliari;
- 15.000 euro, moltiplicato per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio, per gli edifici composti da più di otto unità immobiliari.

Questo implica che, per esempio, nel caso in cui l'edificio sia composto da 15 unità immobiliari, il limite di spesa ammissibile alla detrazione è pari a 265.000 euro, calcolato moltiplicando 20.000 euro per 8 (160.000 euro) e 15.000 euro per 7 (105.000 euro).



**Figura 3:** Caldaia a condensazione.

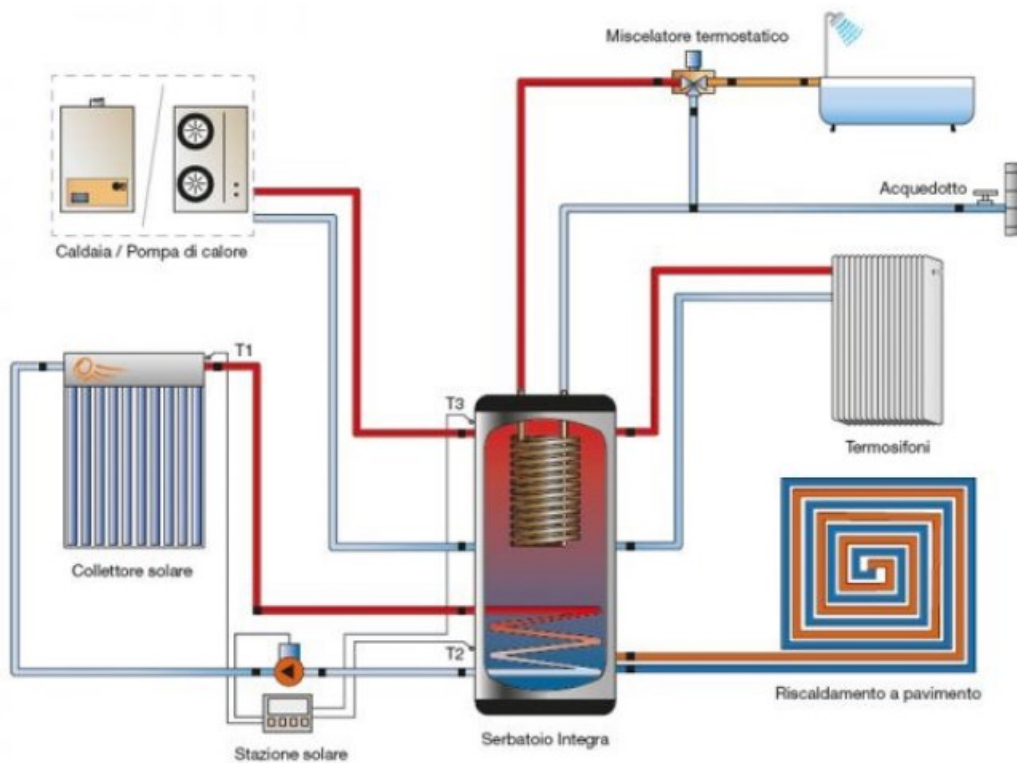
### 2.3.3. Sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale sugli edifici unifamiliari o sulle unità immobiliari di edifici plurifamiliari

Il Superbonus spetta per interventi effettuati sugli edifici unifamiliari o sulle unità immobiliari site all'interno di edifici plurifamiliari, le quali siano funzionalmente indipendenti e dispongano di uno o più accessi autonomi dall'esterno.

Si tratta dei medesimi interventi agevolabili se realizzati sulle parti comuni degli edifici con l'aggiunta, esclusivamente per le aree non metanizzate nei comuni non interessati dalle procedure di infrazione comunitaria n. 2014/2147 del 10 luglio 2014 o n. 2015/2043 del 28 maggio 2015 per la non ottemperanza dell'Italia agli obblighi previsti dalla direttiva 2008/50/CE, dell'installazione delle caldaie a biomassa aventi prestazioni emissive con valori previsti almeno per la classe di qualità 5 stelle individuata dal decreto del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare 7 novembre 2017, n.186.

La detrazione è calcolata su un ammontare complessivo delle spese non superiore a 30.000 euro, per singola unità immobiliare.

La detrazione spetta anche per le spese relative allo smaltimento e alla bonifica dell'impianto sostituito.



**Figura 4:** Caldaia a pompa di calore.

#### **2.4. Interventi aggiuntivi o trainanti**

Il Superbonus spetta anche per le spese sostenute per “ulteriori” interventi eseguiti congiuntamente con almeno uno degli interventi principali di isolamento termico, di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale o antisismici,

precedentemente elencati.

Con riferimento alla condizione richiesta dalla norma che gli interventi trainati siano effettuati congiuntamente agli interventi trainanti ammessi al Superbonus, si precisa che tale condizione si considera soddisfatta se “le date delle spese sostenute per gli interventi trainati, sono ricomprese nell’intervallo di tempo individuato dalla data di inizio e dalla data di fine dei lavori per la realizzazione degli interventi trainanti”.

Questo implica che, ai fini dell’applicazione del Superbonus, le spese sostenute per gli interventi trainanti devono essere effettuate nell’arco temporale di vigenza dell’agevolazione, mentre le spese per gli interventi trainati devono essere sostenute nel periodo di vigenza dell’agevolazione e nell’intervallo di tempo tra la data di inizio e la data di fine dei lavori per la realizzazione degli interventi trainanti.

Pertanto, se il contribuente ha sostenuto spese per interventi trainanti (ad esempio per il rifacimento del “cappotto termico” o la sostituzione dell’impianto di climatizzazione invernale) a marzo 2020 e, pertanto, non ammesse al Superbonus, non potrà beneficiare di tale agevolazione neanche per le spese sostenute per la sostituzione delle finestre o per l’installazione di impianti fotovoltaici (interventi trainati) ancorché i relativi pagamenti siano effettuati successivamente all’entrata in vigore delle agevolazioni in commento, ad esempio, a settembre 2020.

#### **2.4.1. Interventi di efficientamento energetico**

Il Superbonus spetta per gli interventi di efficientamento energetico previsti dall’articolo 14 del decreto-legge n. 63/2013, nei limiti di spesa previsti per ciascun intervento di efficienza energetica dalla legislazione vigente, eseguiti congiuntamente ad almeno uno degli interventi di isolamento termico delle superfici opache o di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti.

Gli interventi di efficientamento energetico indicati nel citato articolo 14 del decreto legge n. 63/2013 danno diritto al Superbonus, a prescindere dalla effettuazione degli interventi di isolamento termico o di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale (interventi trainanti), qualora questi ultimi

non possano essere realizzati in quanto gli immobili sono sottoposti alla tutela disciplinata dal Codice dei beni culturali e del paesaggio o per effetto di regolamenti edilizi, urbanistici e ambientali. Ai fini del Superbonus è, comunque, necessario che gli interventi indicati nel citato articolo 14 del decreto legge n. 63/2013, assicurino il miglioramento di almeno due classi energetiche o, se non possibile, in quanto l'edificio o l'unità immobiliare è già nella penultima (terzultima) classe, il conseguimento della classe energetica più alta.

Pertanto, se l'edificio è sottoposto ai vincoli previsti dal predetto codice dei beni culturali e del paesaggio o il rifacimento dell'isolamento termico è vietato da regolamenti edilizi, urbanistici o ambientali, il Superbonus si applica, comunque, ai singoli interventi ammessi all'ecobonus (ad esempio, sostituzione degli infissi), purché sia certificato il miglioramento energetico.

#### **2.4.2. Installazione di impianti solari fotovoltaici e sistemi di accumulo**

Il Superbonus si applica alle spese sostenute per l'installazione di:

- impianti solari fotovoltaici connessi alla rete elettrica ovvero di impianti solari fotovoltaici su strutture pertinenziali agli edifici;
- sistemi di accumulo integrati negli impianti solari fotovoltaici agevolati contestuale o successiva all'installazione degli impianti medesimi.

L'applicazione della maggiore aliquota è, comunque, subordinata alla:

- installazione degli impianti eseguita congiuntamente a uno degli interventi trainanti di isolamento termico delle superfici opache o di sostituzione degli impianti di climatizzazione nonché antisismici che danno diritto al Superbonus;
- cessione in favore del GSE, dell'energia non auto-consumata in sito o non condivisa per l'autoconsumo (nell'ambito delle comunità energetiche). Con decreto del Ministro dello sviluppo economico, sono individuati i limiti e le modalità relativi all'utilizzo e alla valorizzazione dell'energia condivisa prodotta da impianti incentivati.

La detrazione è calcolata su un ammontare complessivo delle spese stesse non superiore a 48.000 euro, e comunque nel limite di spesa di 2.400 euro per ogni kW di potenza nominale dell'impianto solare fotovoltaico, per singola unità

immobiliare. La detrazione va ripartita tra gli aventi diritto in 5 quote annuali di pari importo e in 4 quote annuali di pari importo per la parte di spesa sostenuta nell'anno 2022.

Il predetto limite di spesa di 48.000 euro è distintamente riferito agli interventi di installazione degli impianti solari fotovoltaici e dei sistemi di accumulo integrati nei predetti impianti.

La detrazione non è cumulabile con altri incentivi pubblici o altre forme di agevolazione di qualsiasi natura previste dalla normativa europea, nazionale e regionale.

In caso di installazione, da parte delle comunità energetiche rinnovabili costituite in forma di enti non commerciali o di condomini, di impianti fino a 200 kW, il Superbonus si applica alla quota di spesa corrispondente alla potenza massima di 20 kW.

Per la quota di spesa corrispondente alla potenza eccedente i 20 kW spetta la detrazione ordinaria prevista dal Tuir, nel limite massimo di spesa complessivo di 96.000 euro riferito all'intero impianto.



**Figura 5:** Impianti fotovoltaici installati.

### **2.4.3. Infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici**

Se l'installazione delle infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici negli edifici è eseguita congiuntamente a un intervento di isolamento termico delle superfici opache o di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale che danno diritto al Superbonus, la detrazione è elevata al 110%.

In particolare, per le spese documentate e rimaste a carico del contribuente, la detrazione è riconosciuta nella misura del 110%, da ripartire tra gli aventi diritto in 5 quote annuali di pari importo (in 4 quote annuali di pari importo per la parte di spesa sostenuta nell'anno 2022), nel rispetto dei seguenti limiti di spesa:

- 2.000 euro, per gli edifici unifamiliari o per le unità immobiliari situate all'interno di edifici plurifamiliari che siano funzionalmente indipendenti e dispongano di uno o più accessi autonomi dall'esterno;
- 1.500 euro, per gli edifici plurifamiliari o i condomini che installino un numero massimo di otto colonnine;
- 1.200 euro per gli edifici plurifamiliari o i condomini che installino un numero superiore a otto colonnine.

L'agevolazione si intende riferita una sola colonnina di ricarica per unità immobiliare.

Per gli interventi in corso di esecuzione al 1° gennaio 2021, il Superbonus è calcolato su un ammontare massimo delle spese pari a 3.000 euro. Il limite già menzionato è, inoltre, riferito a ciascun contribuente e costituisce, pertanto, l'ammontare massimo di spesa ammesso alla detrazione anche nell'ipotesi in cui, nel medesimo anno, il contribuente abbia sostenuto spese per l'acquisto e la posa in opera di più infrastrutture di ricarica.



**Figura 6:** Colonnina per la ricarica di veicoli elettrici.

## **2.5. Requisiti degli interventi ammessi al superbonus**

Ai fini dell'accesso al Superbonus, gli interventi di isolamento termico delle superfici opache o di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti devono:

- rispettare i requisiti previsti dal decreto del Ministro dello Sviluppo Economico di concerto con il Ministro dell'Economia e delle Finanze e del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti del 6 agosto 2020;
- assicurare, nel loro complesso - anche congiuntamente agli interventi di efficientamento energetico, all'installazione di impianti solari fotovoltaici ed, eventualmente, dei sistemi di accumulo - il miglioramento di almeno due classi energetiche dell'edificio, compreso quello unifamiliare o delle unità immobiliari site all'interno di edifici plurifamiliari funzionalmente indipendenti e che dispongono di uno o più accessi autonomi dall'esterno, o, se non possibile in quanto l'edificio o l'unità familiare è già nella penultima classe, il conseguimento della classe energetica più alta.

Il miglioramento energetico è dimostrato dall'attestato di prestazione energetica (A.P.E.), ante e post-intervento, rilasciato da un tecnico abilitato nella forma della dichiarazione asseverata (**Paragrafo 1.1**).



Tipo di intervento	spesa massima
<p>Interventi di isolamento termico delle superfici opache verticali, orizzontali o inclinate che interessano l'involucro dell'edificio con un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda realizzati su edifici residenziali unifamiliari, sulle parti comuni di edifici residenziali in condominio o su edifici composti da 2 a 4 unità distintamente accatastate possedute da un unico proprietario o in comproprietà o su unità immobiliari residenziali site all'interno di edifici plurifamiliari che siano funzionalmente indipendenti e dispongano di uno o più accessi autonomi dall'esterno.</p>	<p><b>50.000 euro</b>, per gli edifici unifamiliari o per le unità immobiliari funzionalmente indipendenti</p> <p><b>40.000 euro</b>, moltiplicato per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio, per gli edifici composti da due a otto unità immobiliari</p> <p><b>30.000 euro</b>, moltiplicato per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio, per gli edifici composti da più di otto unità immobiliari.</p>

Tipo di intervento	spesa massima
<p>Interventi sulle parti comuni degli edifici residenziali in condominio o composti da 2 a 4 unità distintamente accatastate possedute da un unico proprietario o in comproprietà per la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti centralizzati per il riscaldamento e/o il raffrescamento e/o la fornitura di acqua calda sanitaria, a condensazione, con efficienza almeno pari alla classe A di prodotto prevista dal regolamento delegato (UE) n. 811/2013 della Commissione del 18 febbraio 2013, a pompa di calore, ivi inclusi gli impianti ibridi o geotermici, anche abbinati all'installazione di impianti fotovoltaici e relativi sistemi di accumulo ovvero con impianti di microgenerazione o a collettori solari.</p>	<p><b>20.000 euro</b>, moltiplicato per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio, per gli edifici composti fino a otto unità immobiliari</p> <p><b>15.000 euro</b>, moltiplicato per il numero delle unità immobiliari che compongono l'edificio, per gli edifici composti da più di otto unità immobiliari</p>

Tipo di intervento	spesa massima
<p>Interventi sugli edifici residenziali unifamiliari o sulle unità immobiliari residenziali site all'interno di edifici plurifamiliari, le quali siano funzionalmente indipendenti e dispongano di uno o più accessi autonomi dall'esterno, per la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti per il riscaldamento e/o il raffrescamento e/o la fornitura di acqua calda sanitaria a condensazione, con efficienza almeno pari alla classe A di prodotto prevista dal regolamento delegato (UE) n. 811/2013 della Commissione del 18 febbraio 2013 a pompa di calore, ivi inclusi gli impianti ibridi o geotermici, anche abbinati all'installazione di impianti fotovoltaici e relativi sistemi di accumulo o con impianti di microgenerazione, a collettori solari o con impianti a biomassa con classe di qualità 5 stelle (individuata dal decreto del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare n. 186/2017).</p>	<p><b>30.000 euro</b></p>

Tipo di intervento	spesa massima
<p>Interventi di efficientamento energetico di cui all'articolo 14 del decreto legge n. 63/2013, eseguiti congiuntamente ad almeno uno dei precedenti interventi e che assicurino il miglioramento di almeno due classi energetiche o, se non possibile, il conseguimento della classe energetica più alta</p>	<p>limiti di spesa previsti per ciascun intervento</p>

Tipo di intervento	spesa massima
Interventi di efficientamento energetico di cui all'articolo 14 del decreto legge n. 63/2013, eseguiti su edifici sottoposti a vincoli, anche non realizzati congiuntamente agli interventi di isolamento termico delle superfici opache o di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti, a condizione che assicurino il miglioramento di almeno due classi energetiche o, se non possibile, il conseguimento della classe energetica più alta	limiti di spesa previsti per ciascun intervento

Tipo di intervento	spesa massima
Interventi antisismici (articolo 16, commi da 1- <i>bis</i> a 1- <i>septies</i> del decreto legge n. 63/2013). In caso di cessione del corrispondente credito a un'impresa di assicurazione e di contestuale stipula di una polizza che copre il rischio di eventi calamitosi, la detrazione prevista nell'articolo 15, comma 1, lettera f-bis), del Tuir, spetta nella misura del 90%.	limiti di spesa previsti per ciascun intervento

Tipo di intervento	spesa massima
Interventi finalizzati alla eliminazione delle barriere architettoniche, per favorire la mobilità interna ed esterna all'abitazione alle persone portatrici di handicap in situazione di gravità e anche se effettuati in favore di persone di età superiore a sessantacinque anni riduzione del rischio sismico (articolo 16- bis, comma 1, lett. e), del TUIR)	<b>96.000 euro</b>

Tipo di intervento	spesa massima
Installazione di impianti solari fotovoltaici connessi alla rete elettrica su edifici fino a un ammontare complessivo delle spese non superiore a quello dell'impianto solare fotovoltaico, eseguita congiuntamente a uno degli interventi di isolamento termico delle superfici opache o di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti o di riduzione del rischio sismico precedentemente elencati.	<b>48.000 euro</b> e comunque nel limite di spesa di <b>2.400 euro</b> per ogni kW di potenza nominale. In caso di interventi di cui all'articolo 3, comma 1, lettere d), e) ed f), del Dpr n. 380/2001 il limite di spesa è ridotto a <b>1.600 euro</b> per ogni kW di potenza nominale

Tipo di intervento	spesa massima
Installazione, contestuale o successiva all'installazione di impianti solari fotovoltaici, di sistemi di accumulo integrati negli impianti solari fotovoltaici agevolati	<b>1.000 euro</b> per ogni kWh di capacità di accumulo del sistema di accumulo, nel <b>limite complessivo di spesa di 48.000 euro</b> e, comunque, di <b>2.400 euro</b> per ogni kW di potenza nominale dell'impianto.

Tipo di intervento	spesa massima
Installazione di <b>Infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici</b> in edifici unifamiliari o per l'unità immobiliare situata all'interno di edifici plurifamiliari, funzionalmente indipendente e con accesso autonomo dall'esterno, a condizione che sia effettuata congiuntamente ad almeno uno degli interventi di isolamento termico delle superfici opache o di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti, sopra indicati	<b>2.000 euro</b>
Installazione di <b>Infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici</b> in edifici plurifamiliari o in condomini che installino <b>un numero massimo di otto colonnine</b> , a condizione che sia effettuata congiuntamente ad almeno uno degli interventi di isolamento termico delle superfici opache o di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti, sopra indicati	<b>1.500</b>
Installazione di <b>Infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici</b> negli edifici in edifici plurifamiliari o in condomini che installino un <b>numero superiore a otto colonnine</b> a condizione che sia effettuata congiuntamente ad almeno uno degli interventi di isolamento termico delle superfici opache o di sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti, sopra indicati	<b>1.200</b>

**Tabella 5:** interventi ammessi al Superbonus.

### **3. Il rilievo dei parametri tecnici**

Il rilievo dei parametri tecnici è una pratica molto complicata, la cui efficacia non dipende solo dal possesso di nozioni e teorie procedurali, ma anche e soprattutto dall'esperienza. Ad ogni modo, il processo di rilevazione si è ormai cristallizzato in due fasi distinte.

- **Ripresa:** è la raccolta dei dati vera e propria. Può essere realizzata applicando tre tecniche distinte: quella diretta, quella fotogrammetrica e quella con laser scanner 3D (nota anche come “digitale”).
- **Restituzione:** questa fase è parecchio complessa in quanto consiste nell'impiego attivo dei dati, delle informazioni, delle misure. In breve, è l'attività di riproduzione grafica dell'edificio. Un tempo si realizzava praticamente a mano. Oggi, anzi da un bel po' di decenni, questa fase si espleta mediante l'impiego di strumenti digitali, informatici, di programmazione. Tanto più la rilevazione è automatizzata, quanto più è semplice effettuare una buona restituzione.

La necessità di effettuare un rilievo architettonico può derivare dall'esigenza di rappresentare graficamente, parti di un edificio oppure un alloggio intero, per poi procedere con la progettazione degli spazi rilevati, in questo caso sono stati effettuati rilievi tecnici di intere abitazioni. Ma il rilievo di un appartamento sarà sicuramente anche utile nel caso si debbano modificare i pavimenti dello stesso e nel caso si debba decidere la giusta distribuzione degli arredi. Sarà sempre comodo avere una planimetria della casa che potrà poi essere utilizzata in tante occasioni.

Per riuscire ad eseguire un rilievo più o meno dettagliato è necessario essere dotati di una adeguata conoscenza del metodo con cui operare e una adeguata strumentazione da utilizzare per le misurazioni. La procedura grafica da adottare consiste inizialmente nella realizzazione di uno schizzo sul quale andranno poi annotate le dimensioni dello spazio, nello stesso momento in cui è

stata effettuata la misura. Allo schizzo andrà aggiunto anche un rilievo fotografico che sarà poi di supporto alla realizzazione degli elaborati grafici (piante, sezioni e prospetti), in modo che questi ultimi riescano a rappresentare in maniera completa gli ambienti rilevati. Se si è già in possesso di una piantina dell'appartamento oppure dell'edificio di cui si deve effettuare la misurazione sarà opportuno utilizzarla come supporto. Piante catastali, vecchi rilievi, andranno perciò studiati, per avere prima del sopralluogo una visione generale degli spazi. Si dovrà poi procedere con un'analisi visiva effettuata grazie ad una verifica sul luogo, che permetterà di decidere come affrontare la misurazione dello spazio. Lo schizzo degli ambienti potrà essere effettuato a grandi linee, magari disegnando ad esempio il perimetro dell'appartamento e poi quello delle singole stanze, le aperture presenti e gli altri elementi che saranno ritenuti fondamentali al rilievo, le misure effettuate saranno poi indicate nello stesso schizzo. Sulla bozza del disegno, quindi andranno segnati se presenti gradini e scale, eventuali cambi di quota, alcune indicazioni di massima sui materiali utilizzati ed eventualmente altre annotazioni che potrebbero risultare utili come la tipologia degli infissi nel nostro caso.

Importante è talvolta riportare anche le proiezioni di quello che sta sopra il piano di sezione come le travi principali, i lucernari, alcune indicazioni schematiche delle volte se presenti o di altro tipo di copertura.

Si dovrà ancora, già in fase di rilievo, pensare anche allo sviluppo di eventuali sezioni, in modo da individuare poi nel modo migliore le misure. Andranno analizzati, rilevati e schizzati anche eventuali particolari tecnici che possono risultare fondamentali per lo studio del progetto o di un'altra eventuale successiva analisi.

Anche gli strumenti scelti per il rilievo sono fondamentali per il raggiungimento del risultato prefissato, quelli che maggiormente si utilizzano sono: il distanziometro laser, il doppio metro di acciaio a nastro arrotolabile, il doppio metro in legno con stecche ripiegabili, la bindella, il filo a piombo per individuare le verticalità e la livella, ma importante risulta essere anche il procedimento operativo da eseguire per effettuare il rilievo.

La restituzione grafica dovrà essere effettuata non troppo tempo dopo il sopralluogo, in cui si è effettuata la misurazione per l'acquisizione dei dati, in modo che non si dimentichino alcuni elementi dello spazio che potrebbero risultare fondamentali.

Importante sarà anche il metodo scelto per rappresentare i dati acquisiti, si potrà utilizzare un ambiente CAD, se si dispone di attrezzature tecniche e di software adeguati.

Se si è dotati di un distanziometro laser sarà possibile effettuare il rilievo anche da soli, se invece si è dotati di una rotella di almeno 10 m dotata di nastro plastificato, sarà opportuno effettuare il rilievo con il supporto di un'altra persona.

La strumentazione necessaria in entrambi i casi è facile da reperire in commercio. Nel caso si voglia, ad esempio, procedere con il rilievo di un appartamento, si dovranno misurare tutti i lati delle stanze e anche delle loro diagonali: questo metodo permette di definire in maniera precisa la giusta inclinazione delle pareti. Si dovranno rilevare tutte le misure dei vani di accesso alle stanze e le finestre, lo spessore dei muri perimetrali e di quelli divisorii, l'altezza dei locali, l'eventuale presenza di pilastri e di travi magari accorpate a pareti.

Il buon risultato finale dipenderà quindi, anche da una adeguata capacità e metodologia operativa. Se l'appartamento o l'edificio risulta particolarmente complesso si possono individuare delle sotto parti e procedere poi con il rilievo delle parti di dimensioni più contenute, dotate di una forma più facilmente riconoscibile, ma contemporaneamente bisognerà avere sempre una visione di insieme, in modo che si possa procedere, come è buona norma, dal generale al particolare. Suddividere ad esempio un rilievo di un appartamento in parti, significa misurare singolarmente ogni stanza procedendo comunque sempre secondo una visione complessiva, rilevando anche le connessioni tra le stanze. Nella resa grafica poi bisogna scegliere la scala metrica di rappresentazione più adeguata, il rapporto di scala definisce anche il dettaglio del rilievo. Sia le sezioni ma anche le piante sono disegnate effettuando le misurazioni in base a piani di taglio che nel caso delle piante dovranno essere scelti in modo da rilevare la maggior parte delle porte e delle finestre.

Anche i piani di taglio per la rappresentazione delle sezioni dovranno essere scelti in modo adeguato. È necessario che si possano individuare le connessioni verticali dell'edificio o, se sono presenti, dell'appartamento, che si possa comprendere il tipo di copertura presente (solai piani, capriate, volte, ecc.), in modo che le sezioni insieme alle piante riescano a dare una visione completa dell'edificio o dell'appartamento. Nei disegni andranno anche individuate le linee dei piani di sezione e le varie quote individuate nella fase della misurazione, per permettere una lettura dettagliata del disegno.

Per il seguente elaborato sono state rilevate dieci abitazioni, tutte nella zona del Fermano. Le seguenti strutture vanno da due piani ad un massimo di tre piani fuori terra.

Grazie al cliente sono state acquisite informazioni sulla struttura come l'anno di costruzione ed eventuali modifiche che sono state fatte nel corso degli anni. Queste informazioni molto spesso aiutano il tecnico nel rilievo perché si riescono a capire aspetti della struttura che ad occhio nudo non si vedono.

Grazie all'anno di costruzione sono state identificate le tipologie strutturali e non strutturali dell'involucro esterno, delle tramezzature e del solaio.

Ulteriori dati che sono stati raccolti per la progettazione di un intervento di riqualificazione energetica sono:

- Tipologia, potenza (kW) e anno della caldaia
- Tipologia e qualità degli infissi
- Tipologia termosifoni
- Consumo gas annuo (kW/h)
- Qualità dei materiali utilizzati nella struttura

L'acquisizione di informazioni da parte del tecnico comporta un costo, in quanto il rilievo di grandi edifici necessita di più sopralluoghi a causa dell'elevata quantità dei dati da procurarsi, in quanto nel momento della restituzione in CAD è evidente la mancanza di misurazioni più vicine alla misura reale. Solamente con un sopralluogo è molto facile tralasciare misurazioni o dati fondamentali per portare a termine la progettazione.

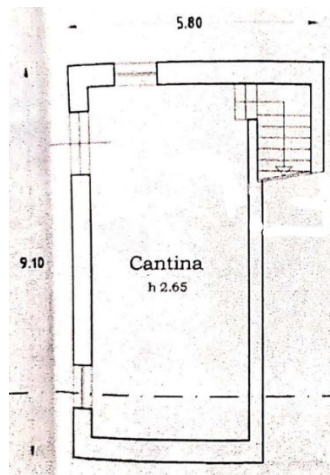
Per calcolare trasmittanza, resistenza e capacità termica totale è stato usato il programma PAN 7.1 andando ad inserire nel suo interno tutti i vari pacchetti di murature presenti nelle abitazioni esaminate.

Procediamo quindi andando ad esaminare un'abitazione tra quelle rilevate durante il tirocinio universitario mettendo in ordine tutti i passi sostenuti per portare a completamento il lavoro.

### **Abitazione 1: villetta monofamiliare (Montegiorgio).**

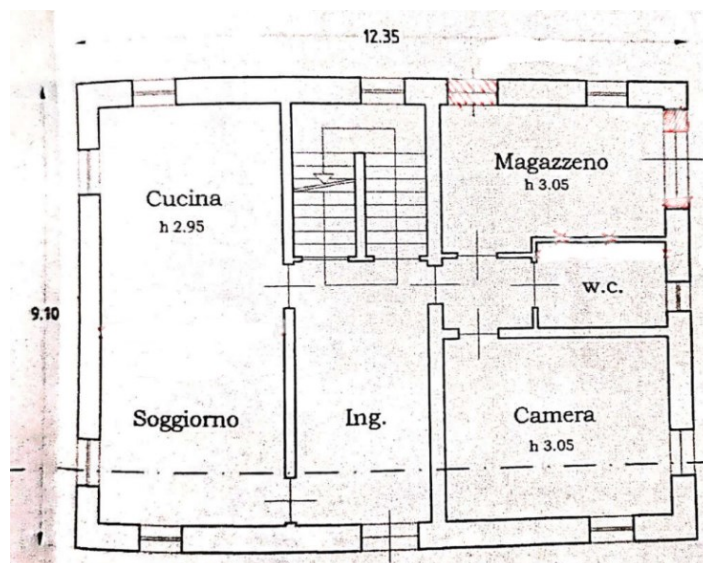
#### 1. Piante, prospetti e sezioni catastali

- Pianta seminterrato



**Figura 7:** Pianta seminterrato abitazione 1.

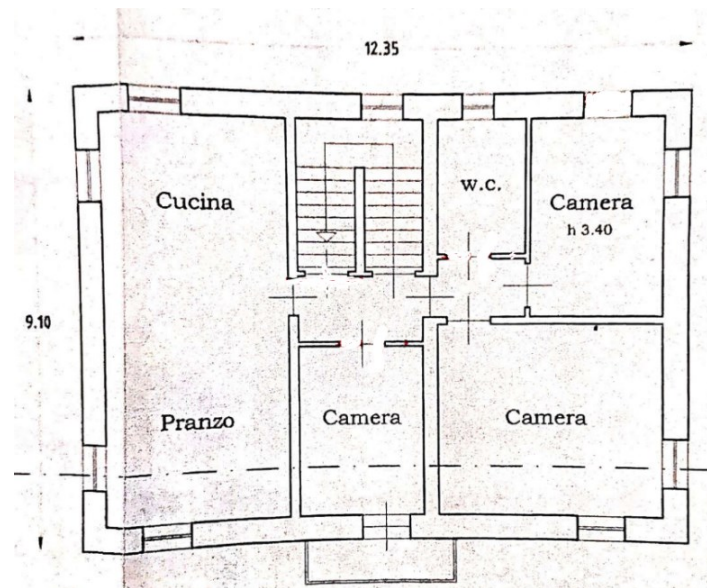
- Pianta piano terra



**Figura 8:** Pianta piano terra abitazione 1.

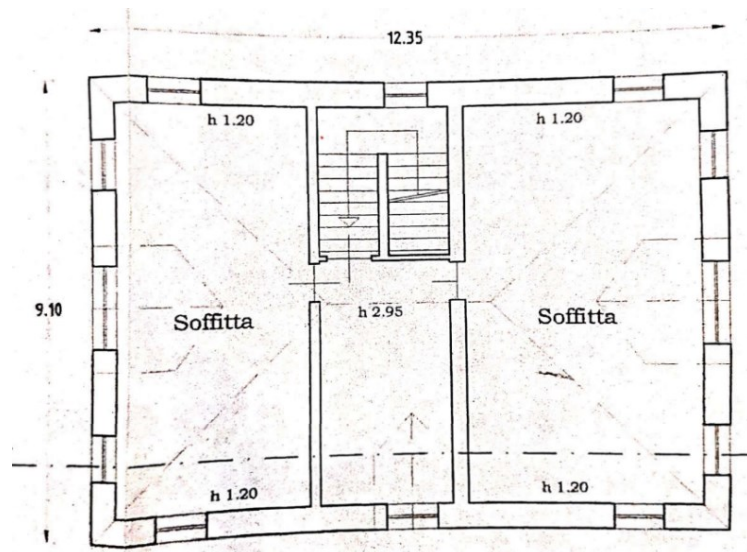


- Pianta piano primo



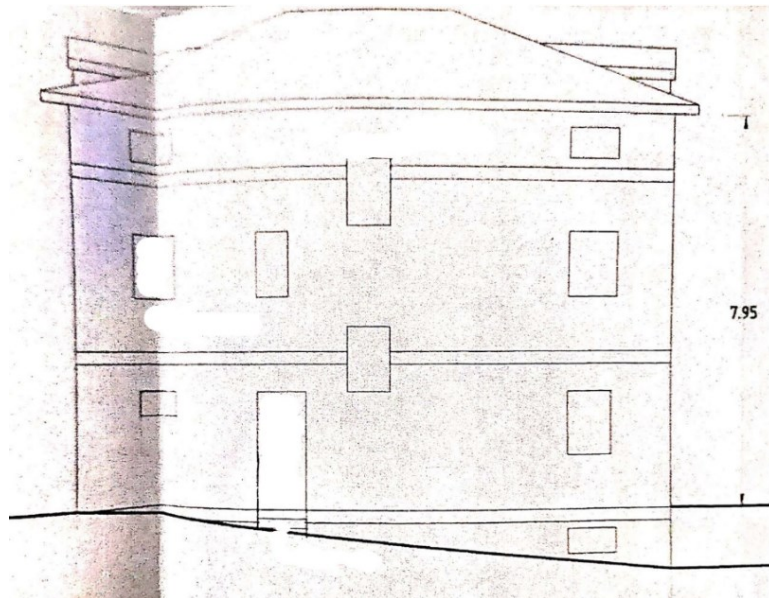
**Figura 9:** Pianta piano primo abitazione 1.

- Pianta sottotetto



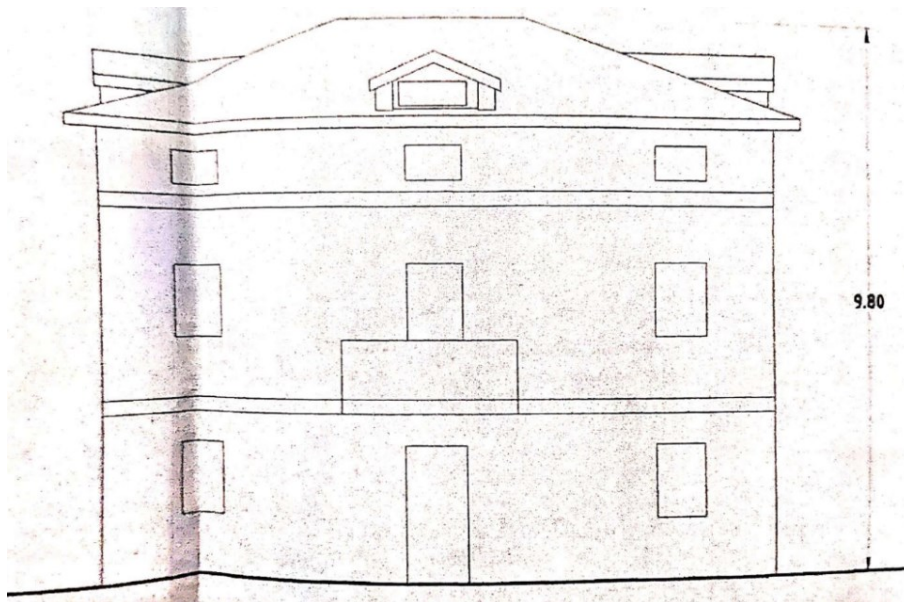
**Figura 10:** Pianta sottotetto abitazione 1.

- Prospetto Nord



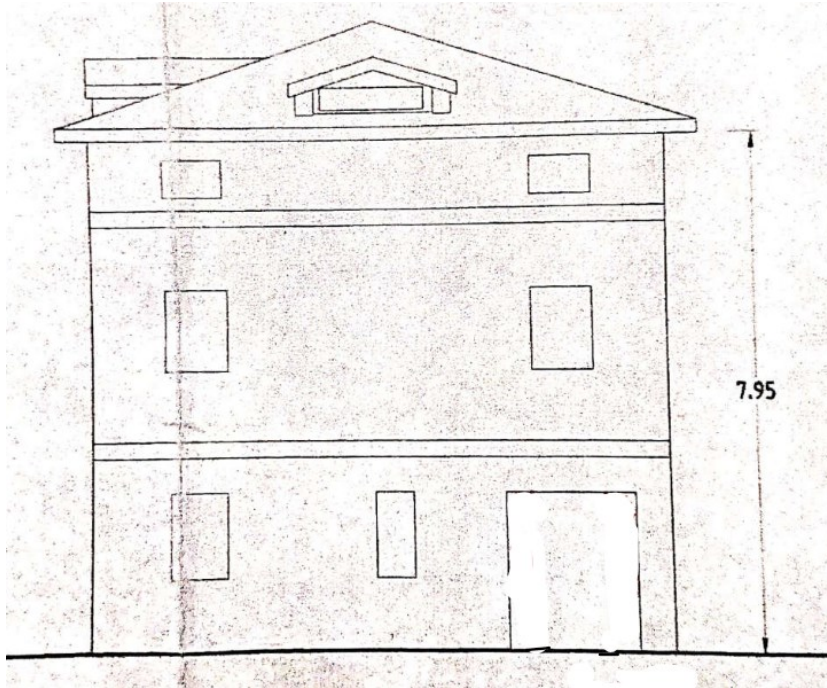
**Figura 11:** Prospetto Nord abitazione 1.

- Prospetto Sud



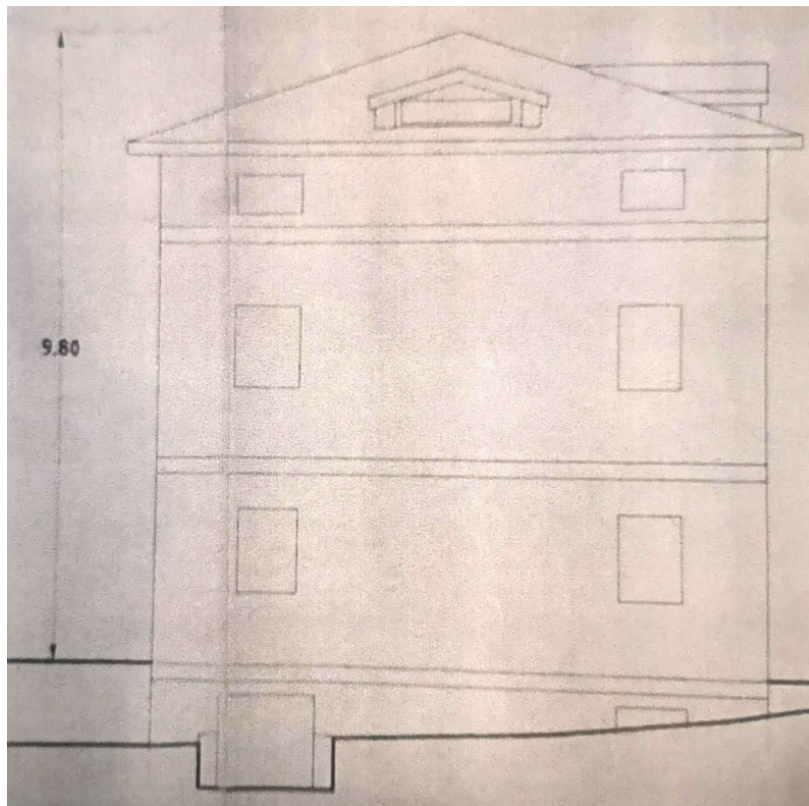
**Figura 12:** Prospetto Sud abitazione 1.

- Prospetto Est



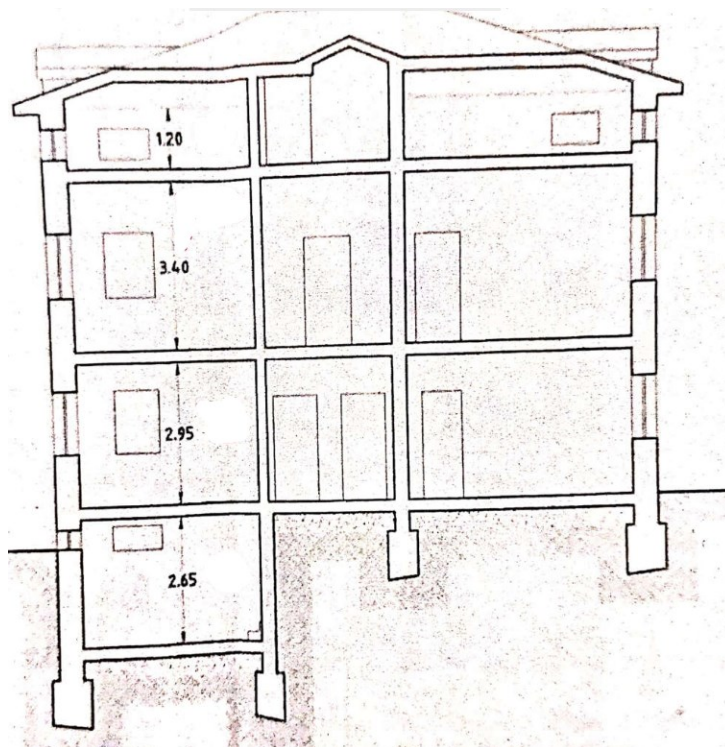
**Figura 13:** Prospetto Est abitazione 1.

- Prospetto Ovest



**Figura 14:** Prospetto Ovest abitazione 1.

- Sezione



**Figura 15:** Sezione abitazione 1.

2. Schizzo con le misure rilevate

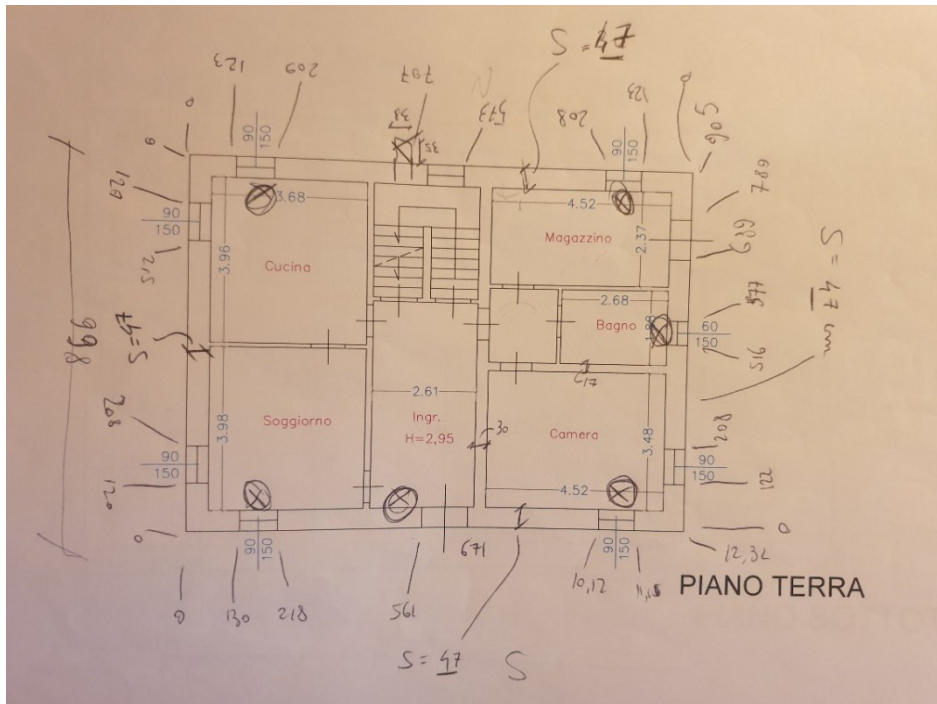


Figura 16: Schizzo con misure abitazione 1.

3. Foto



Figura 17: Foto 1 abitazione 1.



**Figura 18:** Foto 2 abitazione 1.

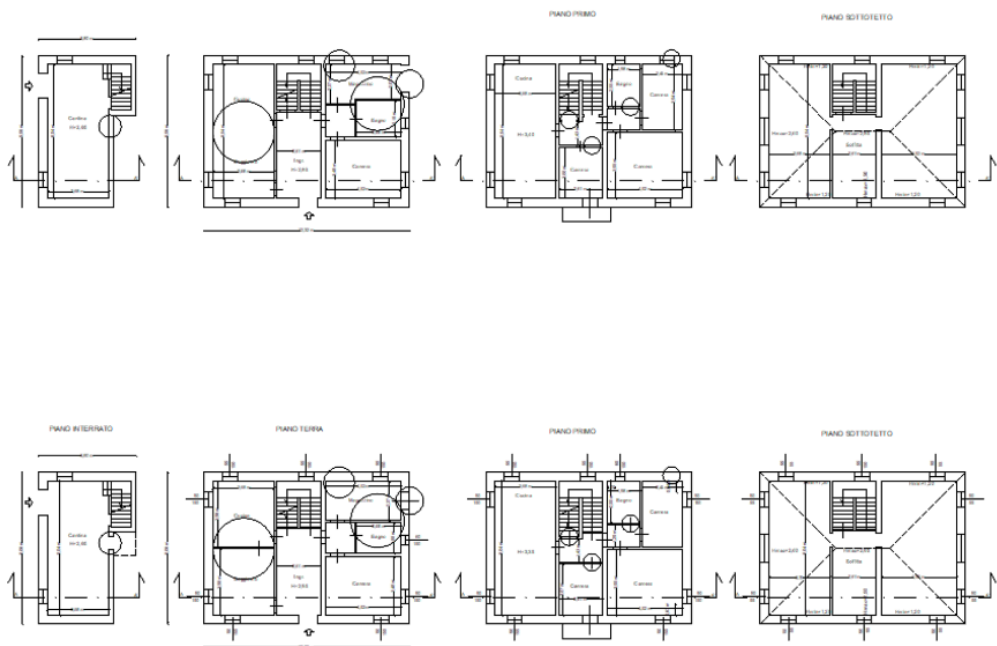


**Figura 19:** Foto 3 abitazione 1.



**Figura 20:** Foto 4 abitazione 1.

4. Restituzione grafica in CAD





**Figura 21:** Restituzione in CAD abitazione 1.

I restanti edifici, oggetto di studio, sono elencati e descritti nello stesso modo attraverso i dati catastali, le misurazioni, le foto e la restituzione in CAD nell' Appendice finale della suddetta tesi.



Abitazione n°	Piani abitati [m <sup>2</sup> ]	Volume abitato [m <sup>3</sup> ]	Consumo annuo gas [smc]	Caldaia [kW]	Termosifoni	Trasmittanza termica involucro esterno [W/m <sup>2</sup> K]	Resistenza termica involucro esterno [m <sup>2</sup> K/W]	Capacità termica totale involucro esterno [kJ/m <sup>2</sup> K]
<b>1</b>	PT 81,50	PT 240,43	876,00	24	Ghisa	0,58	1,73	482,90
	P1° 81,50	P1° 273,03						
	<b>Totale</b> 163,00	<b>Totale</b> 513,45						
<b>2</b>	PT 81,60	PT 234,19	340,00	24	Ghisa	1,38	0,72	779,00
	P1° 63,80	P1° 188,21	306,00					
	<b>Totale</b> 145,40	<b>Totale</b> 422,40						
<b>3</b>	PT 93,40	PT 233,50	677,00	24	Ghisa	1,52	0,66	710,00
	P1° 47,00	P1° 131,13						
	<b>Totale</b> 140,40	<b>Totale</b> 364,63						
<b>4</b>	PT 119,00	PT 333,20	723,00	24	Ghisa	1,43	0,70	405,00
	P1° 90,00	P1° 252,00						
	P2° 90,00	P2° 245,70						
	<b>Totale</b> 299,00	<b>Totale</b> 830,90						

Trasmittanza termica tramezzi interni [W/m <sup>2</sup> K]	Resistenza termica tramezzi interni [m <sup>2</sup> K/W]	Capacità termica totale tramezzi interni [kJ/m <sup>2</sup> K]	Superfici opache [m <sup>2</sup> ]	Superfici trasparenti [m <sup>2</sup> ]	Tipologia copertura	Tipologia muratura
2,24	0,45	178,80	Prosp NORD 90,24 Prosp SUD 86,68 Prosp EST 60,53 Prosp OVEST 74,20 <b>Totale</b> 311,64	Prosp NORD 9,14 Prosp SUD 12,43 Prosp EST 8,71 Prosp OVEST 6,89 <b>Totale</b> 37,16	A falde inclinate	Blocchi semipieni Sp= 50 cm
2,50	0,40	194,00	Prosp NORD 55,95 Prosp SUD 21,47 Prosp EST 47,21 Prosp OVEST 52,00 <b>Totale</b> 176,63	Prosp NORD 8,40 Prosp SUD 5,10 Prosp EST 5,40 Prosp OVEST 4,94 <b>Totale</b> 23,84	A falde inclinate	Mattoni pieni Sp= 43 cm
2,42	0,41	208,00	Prosp NORD 10,73 Prosp SUD 37,82 Prosp EST 71,52 Prosp OVEST 66,24 <b>Totale</b> 186,31	Prosp NORD 19,01 Prosp SUD 0,00 Prosp EST 4,84 Prosp OVEST 3,52 <b>Totale</b> 27,37	A falde inclinate	Mattoni pieni Sp=40 cm
1,89	0,53	219,90	Prosp NORD 52,96 Prosp SUD 55,10 Prosp EST 105,45 Prosp OVEST 117,77 <b>Totale</b> 331,28	Prosp NORD 11,72 Prosp SUD 9,06 Prosp EST 12,32 Prosp OVEST 0,00 <b>Totale</b> 33,10	A falde inclinate	Mattoni semipieni Sp= 30 cm

Abitazione n°	Piani abitati [m <sup>2</sup> ]	Volume abitato [m <sup>3</sup> ]	Consumo annuo gas [smc]	Caldaia [kW]	Termosifoni	Trasmittanza termica involucro esterno [W/m <sup>2</sup> K]	Resistenza termica involucro esterno [m <sup>2</sup> K/W]	Capacità termica totale involucro esterno [kJ/m <sup>2</sup> K]
<b>5</b>	PT 0,00	PT 0,00	482,00	24	Ghisa	0,80	1,25	337,90
	P1° 116,92	P1° 318,02						
	<b>Totale</b> 116,92	<b>Totale</b> 318,02						
<b>6</b>	PT 150,00	PT 375,00	1087,00	24	Ghisa	0,95	1,06	238,10
	P1° 109,00	P1° 305,20						
	<b>Totale</b> 259,00	<b>Totale</b> 680,20						
<b>7</b>	PT 79,80	PT 201,89	691,00	24	Ghisa	1,19	0,84	950,00
	P1° 87,30	P1° 225,23						
	<b>Totale</b> 167,10	<b>Totale</b> 427,13						
<b>8</b>	PT 84,46	PT 236,49	700,00	24	Ghisa	1,53	0,65	702,00
	P1° 84,46	P1° 236,49						
	<b>Totale</b> 168,92	<b>Totale</b> 472,98						

Trasmittanza termica tramezzi interni [W/m <sup>2</sup> K]	Resistenza termica tramezzi interni [m <sup>2</sup> K/W]	Capacità termica totale tramezzi interni [kJ/m <sup>2</sup> K]	Superfici opache [m <sup>2</sup> ]	Superfici trasparenti [m <sup>2</sup> ]	Tipologia copertura	Tipologia muratura
2,24	0,45	178,80	Prosp NORD 41,04 Prosp SUD 68,20 Prosp EST 72,48 Prosp OVEST 69,41 <b>Totale</b> 251,13	Prosp NORD 0,96 Prosp SUD 4,43 Prosp EST 13,52 Prosp OVEST 4,25 <b>Totale</b> 23,16	A falde inclinate	Blocchi semipieni Sp= 37 cm
1,79	0,56	106,00	Prosp NORD 79,86 Prosp SUD 64,32 Prosp EST 71,38 Prosp OVEST 51,73 <b>Totale</b> 267,29	Prosp NORD 10,29 Prosp SUD 7,65 Prosp EST 2,30 Prosp OVEST 11,41 <b>Totale</b> 31,65	A falde inclinate	Blocchi forati Sp= 32 cm
0,848 (s= 30 cm) 2,047 (s= 10 cm)	1,18 (s= 30 cm) 0,49 (s= 10 cm)	328 (s= 30 cm) 92 (s= 10 cm)	Prosp NORD 65,98 Prosp SUD 55,35 Prosp EST 51,30 Prosp OVEST 52,17 <b>Totale</b> 224,80	Prosp NORD 5,41 Prosp SUD 14,10 Prosp EST 2,65 Prosp OVEST 2,64 <b>Totale</b> 24,80	A falde inclinate	Mattoni pieni Sp= 53 cm
2,05	0,49	92,00	Prosp NORD 66,83 Prosp SUD 65,75 Prosp EST 65,13 Prosp OVEST 63,83 <b>Totale</b> 261,54	Prosp NORD 11,00 Prosp SUD 12,08 Prosp EST 5,80 Prosp OVEST 7,10 <b>Totale</b> 35,98	A falde inclinate	Mattoni pieni Sp= 39 cm

Abitazione n°	Piani abitati [m <sup>2</sup> ]		Volume abitato [m <sup>3</sup> ]		Consumo annuo gas [smc]	Caldaia [kW]	Termosifoni	Trasmittanza termica involucro esterno [W/m <sup>2</sup> K]	Resistenza termica involucro esterno [m <sup>2</sup> K/W]	Capacità termica totale involucro esterno [kJ/m <sup>2</sup> K]
<b>9</b>	PT	38,07	PT	121,82	1370,00	24	Ghisa	0,93	1,07	540,00
	P1°	89,60	P1°	268,80						
	P2°	89,60	P2°	259,84						
	<b>Totale</b>	<b>217,27</b>	<b>Totale</b>	<b>650,46</b>						
<b>10</b>	PT	75,97	PT	243,10	690,00	24	Ghisa	1,66	0,60	540,00
	P1°	84,36	P1°	231,99						
	<b>Totale</b>	<b>160,33</b>	<b>Totale</b>	<b>475,09</b>						

Trasmittanza termica tramezzi interni [W/m <sup>2</sup> K]	Resistenza termica tramezzi interni [m <sup>2</sup> K/W]	Capacità termica totale tramezzi interni [kJ/m <sup>2</sup> K]	Superfici opache [m <sup>2</sup> ]	Superfici trasparenti [m <sup>2</sup> ]	Tipologia copertura	Tipologia muratura
2,05	0,49	92,00	Prosp NORD 129,72 Prosp SUD 100,24 Prosp EST 118,47 Prosp OVEST 107,95 <b>Totale</b> 456,38	Prosp NORD 19,73 Prosp SUD 22,06 Prosp EST 2,70 Prosp OVEST 13,22 <b>Totale</b> 57,71	A falde inclinate	Mattoni semipieni Sp= 29 cm
1,66	0,49	74,69	Prosp NORD 34,94 Prosp SUD 36,01 Prosp EST 67,62 Prosp OVEST 67,62 <b>Totale</b> 206,19	Prosp NORD 10,79 Prosp SUD 9,72 Prosp EST 5,52 Prosp OVEST 0,00 <b>Totale</b> 26,03	A falde inclinate	Blocchi pieni Sp= 30 cm

**Tabella 6:** Dati acquisiti per la classificazione energetica di dieci abitazioni rilevate.

#### **4. La stima dello stato di fatto**

Nell'affrontare l'analisi di qualsiasi problema, l'uomo deve tener conto che le proprie abilità cognitive, mnemoniche e di ragionamento hanno dei limiti ai quali bisogna sommare l'effetto di eventuali fattori culturali, psicologici, fisici che possono introdurre ulteriori distorsioni nell'analisi. I modelli sono nati come strumenti per gestire la realtà in maniera più semplice, nascondendone la complessità. Essi sono in grado di produrre informazioni utili per effettuare valutazioni, compiere decisioni o intraprendere azioni, a partire da un set di dati iniziali attraverso il processo di inferenza.

Nel modellare sistemi reali non è sempre possibile disporre di dati certi, perciò bisogna ricorrere a modelli che siano in grado di tener conto delle incertezze associati alle informazioni raccolte. La famiglia dei modelli probabilistici rappresenta sistemi affetti da incertezza, la quale è quantificata attraverso l'attribuzione di una misura di probabilità ad ogni legame tra le variabili del sistema. Le reti Bayesiane appartengono proprio a questo gruppo di modelli. Korb and Nicholson affermano che "il processo di costruzione di una rete Bayesiana possa portare ad una migliore comprensione del fenomeno oggetto d'analisi così come possa fornire uno strumento utile di supporto alle decisioni". Le reti Bayesiane sono uno strumento molto versatile, per questo sono impiegate per studiare fenomeni di diversa natura. In passato sono già state impiegate in ambito aziendale o economico.

La questione rilevante, a questo punto, è scoprire da quali fonti reperire i dati per creare questi modelli ed ottenere informazioni utili per le decisioni strategiche.

L'analisi statistica dei dati amministrativi e contabili interni è un processo che può far emergere informazioni rilevanti, spesso non sfruttato a pieno dalle aziende.

Al contrario, esse hanno sviluppato un forte interesse, indotto dal mercato e dalle norme di legge, verso la produzione di statistiche pubbliche per divulgare le informazioni sulla propria situazione economico-finanziaria. Le cause sono imputabili a molteplici fattori, tra cui: i problemi incontrati dallo statistico nell'interagire con professionisti senza nozioni statistiche, la formazione

culturale dei manager che li induce ad essere diffidenti verso i risultati statistici, le difficoltà che si riscontrano nel compiere modellazioni e previsioni della realtà con sufficiente accuratezza.

A quanto appena detto, si aggiunge che la raccolta dei dati su cui poi basare le proprie scelte strategiche è un'attività che solo poche aziende potevano permettersi di compiere considerando il costo elevato in termini sia di tempo sia di risorse impiegate (umane e non).

Il progresso tecnologico ha portato le imprese a dotarsi di un sistema informatico che da un lato semplifica la gestione dell'azienda e che dall'altro è in grado di raccogliere le informazioni inerenti all'attività svolta. A questi sistemi si affiancano anche altri strumenti per la raccolta dei dati come le indagini ad hoc, i sondaggi, i panel web, ecc.

Anche le aziende più piccole o con risorse limitate possono disporre di informazioni che fungano da supporto alle decisioni. Anche se l'operazione di raccolta delle informazioni si è semplificata, c'è il rischio che non compiendo alcun tipo di analisi, da questa grande quantità di dati non si giunga a nessuna conclusione utile per guidare il management nel prendere delle decisioni; in una situazione come questa, la raccolta delle informazioni rimane un processo fine a se stesso.

Per un'azienda che volesse approcciarsi all'analisi dei dati, in prima battuta entrano in gioco gli elementi messi a disposizione dalla statistica descrittiva, come ad esempio: indici di posizione, indici di variabilità, relazioni statistiche, distribuzioni, rappresentazioni grafiche, ecc. I risultati prodotti da questi strumenti consentono di rilevare, classificare, riassumere e rappresentare il contenuto del database e fungono come base di partenza per considerazioni più elaborate.

Un secondo approccio prevede di apprendere le caratteristiche del campione analizzato e di generalizzarle all'intera popolazione. Il processo inferenziale, ripreso in seguito e descritto ora solo a grandi linee, permette di compiere previsioni da utilizzare come supporto all'interno del processo decisionale.



## 4.1 Reti Bayesiane

Dal punto di vista formale, una Rete Bayesiana è un grafo, ossia un insieme di nodi e frecce. I nodi indicano le variabili di un problema, mentre le frecce indicano i rapporti di causalità tra di esse.

In letteratura è noto come questi modelli risultino particolarmente adatti nell'affrontare contemporaneamente problemi derivanti da incertezza e complessità.

La probabilità, infatti, fornisce una misura dell'incertezza associata ai dati osservati mentre la teoria dei grafi consente di creare una struttura dati coerente con il contesto analizzato e fornisce un'interfaccia intuitiva.

Le reti Bayesiane sono largamente utilizzate in ambiti anche molto diversi tra loro. Questa è la dimostrazione che sono uno strumento inferenziale e decisionale estremamente flessibile. Esse permettono di:

- integrare informazioni provenienti da fonti diverse (conoscenze teoriche, opinioni di esperti, dati sperimentali, ecc.);
- raggiungere una maggior efficienza computazionale, poiché richiedono di inserire le probabilità condizionate delle sole variabili legate tra loro da un arco;
- eseguire operazioni che vanno al di là della capacità della mente umana, come l'aggiornamento dei parametri della rete a seguito della sopravvenuta conoscenza di nuove informazioni;
- stabilire e controllare le assunzioni alla base della rete e del sistema per limitare la validazione delle conclusioni;

compiere analisi di sensibilità utili per quantificare l'influenza di una variabile sull'intera rete.

## 4.2 Introduzione alle reti bayesiane

Le reti Bayesiane sono una classe di modelli grafici probabilistici utilizzati per descrivere ed analizzare situazioni in condizioni di incertezza.

La struttura di una rete Bayesiana è definita a partire da due componenti principali: i nodi, che rappresentano le variabili casuali, gli archi diretti che evidenziano le dipendenze probabilistiche tra le variabili (Korb and Nicholson,

2011). Nello specifico, una rete Bayesiana, spesso indicata con BN dall'inglese Bayesian network, è definita nel seguente modo:

Si considerino  $n$  variabili casuali  $X_1; X_2; \dots; X_n$ ,

un grafo aciclico diretto con  $n$  nodi numerati e si supponga che il nodo  $i$  del grafo sia associato alla variabile  $X_i$ . Il grafo è una rete Bayesiana, che rappresenta le variabili  $X_1; X_2; \dots; X_n$ , se:

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | Pa(X_i)),$$

dove  $Pa(X_i)$  denota l'insieme dei genitori del nodo  $X_i$ , ovvero tutte le variabili tali che nel grafo esista un arco diretto da ciascuna di queste al nodo  $i$ .

Una rete Bayesiana è generalmente indicata con  $BN = (G; P)$  dove  $G$  rappresenta la struttura e  $P$  la distribuzione di probabilità. Per comprendere a pieno il significato di questa definizione è necessario approfondire alcuni elementi.

Una rete bayesiana viene identificata a partire dalla definizione della sua struttura in termini di grafo.

Un grafo, indicato con  $G(N, A)$ , è un set di nodi  $N$ , o vertici, connessi da un insieme di archi  $A$  che possono essere o meno direzionati.

La struttura viene spesso indicata con  $G = (N; A)$  ed è definita da un insieme di nodi,  $N$ , rappresentante le variabili casuali da analizzare, ed un insieme di archi,  $A$ , indicanti le relazioni di dipendenza tra i nodi del grafo. Poiché l'insieme  $N$  rappresenta esattamente l'insieme  $X$  delle variabili del sistema, nel contesto delle BN spesso la nozione assume la forma  $G = (X; A)$ .



Bisogna interpretare con cautela le relazioni di dipendenza, sia dirette che indirette. Intuitivamente la presenza di un arco tra due nodi indica una relazione diretta tra le variabili corrispondenti mentre l'assenza di un collegamento significa che le variabili, all'interno di questo specifico modello, sono considerate

indipendenti. Si noti che è stato utilizzato il termine "relazioni di dipendenza" invece che "relazioni causali".

Nel modello, le variabili casuali sono identificate dall'etichetta del nodo corrispondente e possono essere categoriali, discrete o continue. Le prime sono descritte all'interno di insieme contenente un numero finito di elementi mentre le variabili continue possono assumere uno degli infiniti valori compresi all'interno del proprio dominio. In ogni istante, un generico nodo della rete,  $X_i$ , può assumere in modo mutualmente esclusivo uno degli stati appartenenti al dominio in cui è definito. Nel seguito della tesi verranno considerate solo variabili categoriali o discrete, caratterizzate cioè da un numero finito di valori.

La struttura di una rete Bayesiana utilizza la metafora della famiglia per descrivere le relazioni gerarchiche tra gli elementi del grafo: un nodo è detto genitore (parent) di un figlio (child) se esiste un arco diretto che colleghi il primo al secondo. Un'estensione di questa terminologia identifica, prendendo un generico nodo  $X_i$ , l'insieme dei discendenti (descendants) come tutti i nodi che possono essere raggiunti attraverso un percorso diretto partendo da  $X_i$ , e gli antenati (ancestor), come l'insieme formato dai nodi da cui si può raggiungere  $X_i$  attraverso un percorso diretto. Un nodo senza genitori è definito radice (root) mentre un nodo senza figli prende il nome di foglia (leaf); ogni altro nodo è classificato come intermedio (intermediate).

L'unico vincolo strutturale impone che all'interno della rete non ci siano cicli diretti, ovvero che non sia possibile partire da un nodo e ritornarvi semplicemente seguendo la direzione degli archi. Per questo motivo le BNs appartengono alla categoria dei grafi aciclici diretti o directed acyclic graph (DAG)<sup>2</sup>. Il vincolo dell'aciclicità è necessario, poiché:

- la probabilità congiunta non sarebbe fattorizzabile come prodotto di probabilità condizionate in presenza di cicli;
- qualunque sia il numero e la natura delle dipendenze tra le variabili, esiste almeno una struttura aciclica adatta a rappresentare l'oggetto;
- si garantisce che nessun nodo possa essere il suo stesso ascendente o discendente.

A differenza dei grafi non diretti, i DAG riescono a rappresentare, in modo molto flessibile, un'ampia varietà di indipendenze probabilistiche.

Le reti Bayesiane sono annoverate tra i modelli probabilistici in virtù del fatto che le relazioni intercorrenti tra le variabili sono quantificate specificando, per ogni nodo, una distribuzione di probabilità condizionata. Queste distribuzioni sono rappresentate attraverso tabelle che prendono il nome di tabella di probabilità condizionata o conditional probability table (CPT).

Per ogni variabile  $X_i$ , con  $n$  nodi genitori ( $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ ), la CPT è indicata con  $P(X_i|Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$  e contiene la probabilità associata ad ogni possibile combinazione tra gli stati di  $X_i$  e di tutti i suoi genitori.

La definizione della tabella di probabilità avviene in modi diversi a seconda del tipo di nodo:

- Intermedio o foglia: per ogni combinazione degli stati dei genitori di un generico nodo  $X_i$ , la tabella indica la probabilità condizionata che  $X_i$  assuma uno dei valori contenuti nel proprio dominio.
- Radice: non avendo genitori, la tabella rappresenta la probabilità a priori associata ad ogni stato assunto dalla variabile. Questa è una probabilità marginale e non condizionata, poiché l'insieme dei genitori di un nodo radice è vuoto.

Utilizzando la regola del prodotto (chain rule) è possibile determinare la distribuzione di probabilità congiunta (joint probability distribution) dei nodi dell'intera BN. Essa è calcolata come prodotto delle probabilità condizionate e marginali di tutti i nodi.

Per una rete Bayesiana definita sull'insieme delle variabili  $X = (X_1; X_2; X_n)$  la distribuzione di probabilità congiunta delle rete è definita come:

$$P(X) = P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i|Pa(X_i))$$

dove  $Pa(X_i)$  indica l'insieme dei genitori del nodo  $X_i$ .

La distribuzione di probabilità congiunta può essere dunque fattorizzata e scomposta nelle singole distribuzioni di probabilità locale, ognuna delle quali coinvolge un nodo della rete e l'insieme dei suoi genitori.

Dal punto di vista dell'efficienza computazionale, all'aumentare del numero dei genitori di un nodo, cresce anche la dimensione della tabella di probabilità condizionata e di conseguenza la potenza di calcolo richiesta per l'analisi. Ad esempio: in una rete booleana, dove ciascun nodo può assumere al massimo due valori, ad una variabile con  $n$  genitori è associata una TPC con  $2^{n+1}$  probabilità.

### **4.3 Il modello probabilistico**

Che cos'è un modello probabilistico?

Noi abbiamo descritto una serie di edifici attraverso un insieme di parametri tecnici che permettono di fare una valutazione energetica.

Ognuno di questi parametri, rappresentati nelle singole colonne, ha assunto valori in relazione ad una serie di situazioni reali che sono gli stessi edifici analizzati.

Ad ogni singola riga viene associata quindi una situazione reale.

Per ognuno di questi parametri, quindi è stata costruita una statistica, ovvero ognuna di queste variabili ha un determinato dominio e per alcuni range di valori risultano più probabili di altri.

Quindi la distribuzione di probabilità dei valori, quindi il numero delle volte che assume un determinato range piuttosto che un altro dipende dal numero di edifici che ha avuto quel determinato valore rispetto al numero totale; tale distribuzione non sarà piatta bensì assumerà un andamento a campana.

Se quindi noi costruiamo una rete bayesiana, ovvero un grafo diretto aciclico caratterizzato da un insieme di variabili aleatorie, una per ogni colonna con la loro statistica che sono i "nodi" rappresentati con un "pallino" per ogni variabile

Cosa succede all'interno di questa figura? Alcune classi di prestazione mappano meglio rispetto ad altre in quanto le variabili si strutturano secondo un rapporto di causa effetto, quindi il modello crea tali correlazioni attraverso delle "freccie".

La freccia rappresenta una densità di probabilità condizionata, ovvero la probabilità che il valore della variabile  $x$  sia di un certo tipo rispetto ad una variabile  $y$ .

La macchina quindi ti darà una stima senza effettuare misurazioni poiché c'è un progresso. Quindi un'azienda che mette a sistema il suo operare avrà creato un progresso che gli darà la possibilità di guadagnare tempo.

#### 4.4 La raccolta dati

La redazione di un database implica differenti tipologie di dati da gestire e raccogliere:

- Informazioni riferite agli immobili: layout/planimetrie di edifici da cui desumerne le superfici ed i volumi
- Informazioni dalle bollette termiche: contengono dati sui consumi. Sono il punto di partenza ed il punto di arrivo di tutta l'analisi, dato che l'utilizzatore finale dovrà trovare riscontro dei benefici del risparmio energetico proprio nelle bollette. Le bollette necessarie all'analisi sono quelle riferite almeno ad un intero anno solare.
- Informazioni sulla tipologia degli impianti: contengono dati sulla potenza (power) necessari per la stima delle prestazioni energetiche.

La creazione del database è stata fatta sulla base dell'acquisizione di dati grezzi (raw data) non privi di errori, per lo più stimati a causa della carenza di informazioni dettagliate.

I risultati della fase di raccolta dei dati sono archiviati all'interno di un database composto da 17 variabili (colonne) e 20 osservazioni (righe) ciascuna delle quali individua le risposte date da un singolo scenario stimato.

Le variabili esaminate sono le seguenti:

- Type: la tipologia edilizia analizzata; (nel database si differenziano in: abitazione monofamiliare, medio condominio e a schiera);
- Location: il luogo in cui è situato l'edificio oggetto dell'analisi;
- Weather bus: indica il luogo a cui fa riferimenti il file dei dati meteorologici Wea;
- Volume: il volume totale dell'edificio oggetto di analisi;
- Superficie finestrata: la superficie totale delle finestre presenti nell'edificio;
- Superficie opaca: la superficie totale delle pareti opache presenti nell'edificio;

- Resistenza di accoppiamento aria-involucro esterno ( $R_{ea}$ ): la resistenza liminare dell'aria calcolata sulla base della teoria della fisica delle pareti;
- Resistenza media dell'involucro opaco ( $R_{ie}$ ) calcolata sulla base della teoria della fisica delle pareti;
- Resistenza media dei tramezzi interni ( $R_m$ ) calcolata sulla base della teoria della fisica delle pareti;
- Capacità termica media dei tramezzi interni ( $C_m$ ) calcolata sulla base della teoria della fisica delle pareti;
- Capacità termica dell'involucro opaco ( $C_e$ ) calcolata sulla base della teoria della fisica delle pareti;
- Power: la potenza della caldaia e della pompa di calore presente all'interno dell'edificio;
- Set point: il valore di riferimento sotto al quale si ha l'accensione della caldaia;
- KWh: il consumo annuale in relazione ad ogni scenario analizzato;
- E type: la distinzione tra gas ed elettrico
- Cooling: la presenza/assenza di raffrescamento;
- Tipologia tetto: il tipo di tetto caratterizzante l'edificio (nel database si differenziano a falde e piani);
- Tipologia muraria: descrive brevemente il tipo di pacchetto costruttivo caratterizzante l'edificio in oggetto.

Il sistema di supporto, quindi, non permetterà altro che di stimare in un tempo ridotto i consumi post-intervento quali:

- inserimento del cappotto esterno (coating);
- inserimento pannelli fotovoltaici (PV).

Ottenere un sistema basato su simulazioni calibrate di utilizzo semplice invece di semplificare il paradigma si utilizzano modelli calibrati.

La semplicità di utilizzo è ottenuta gestendo statisticamente il case base.

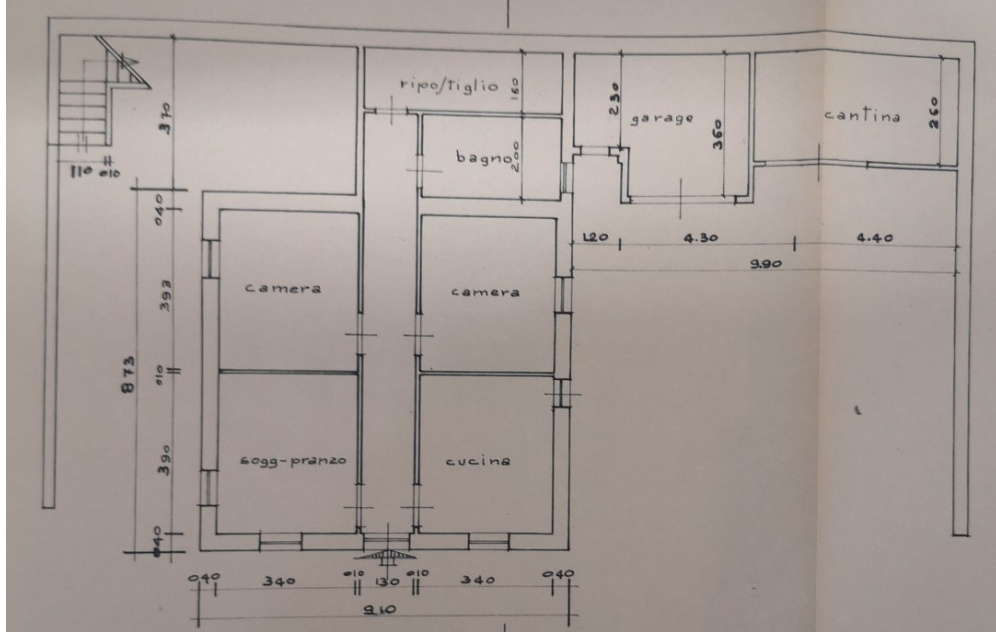
L'approfondimento tecnico permette di ovviare alle imprecisioni introdotte dalla stima approssimata.

## Appendice

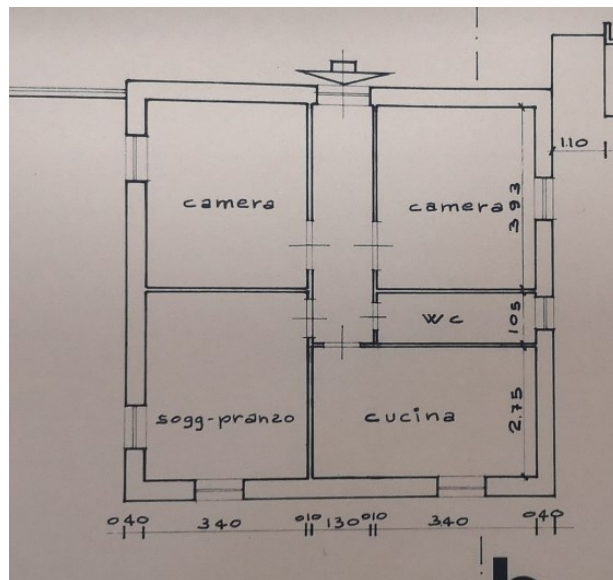
### Abitazione 2: Condominio bifamiliare (Fermo).

#### 1. Piante, prospetti e sezioni catastali

- Pianta piano terra

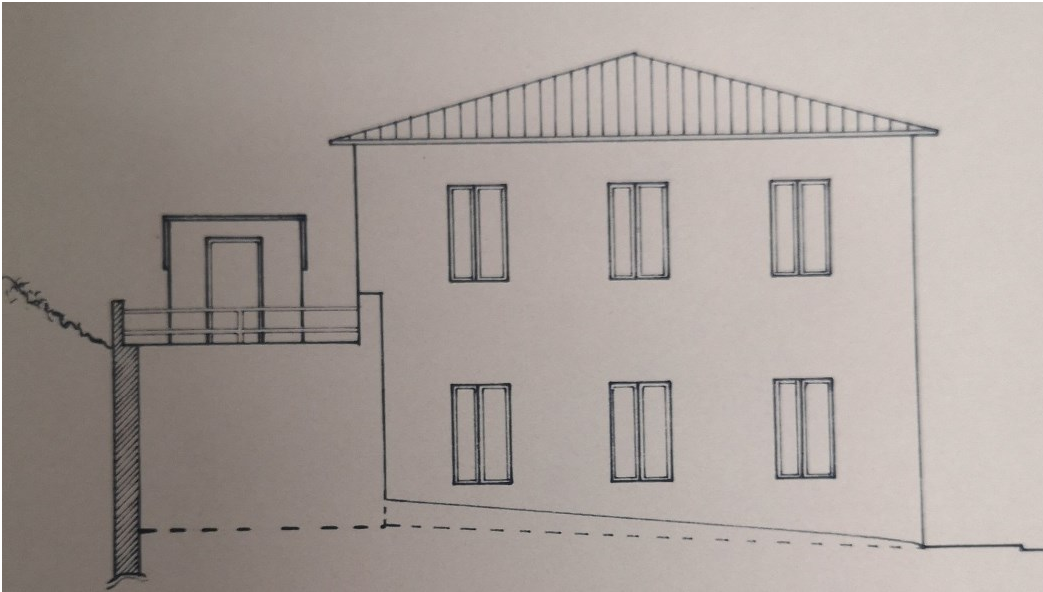


- Pianta piano primo

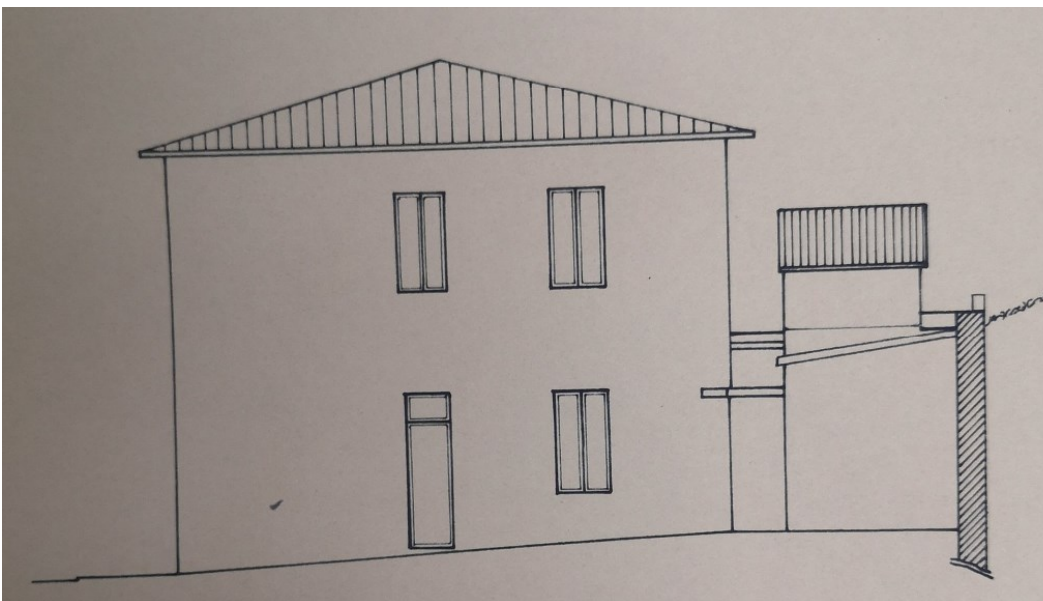




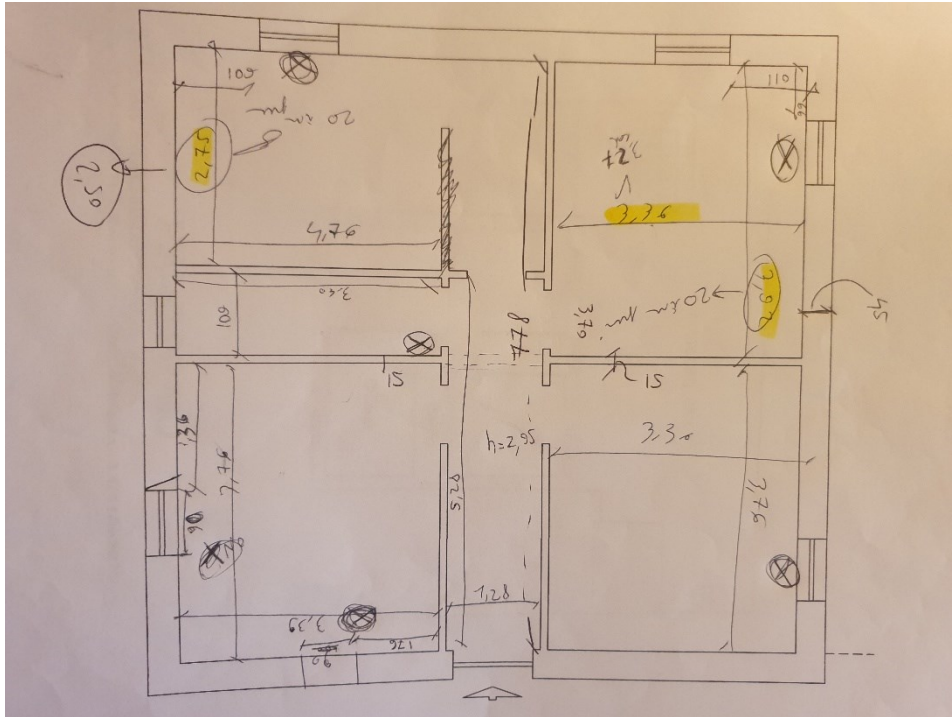
- Prospetto Nord



- Prospetto Sud







3. Foto







## 4. Restituzione grafica in CAD

ORIENTAMENTO

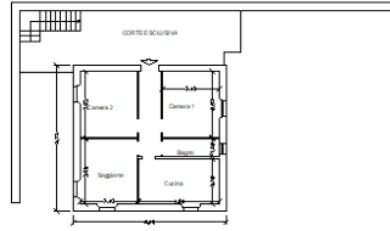


ASSENTITO

PIANTA PIANO TERRA

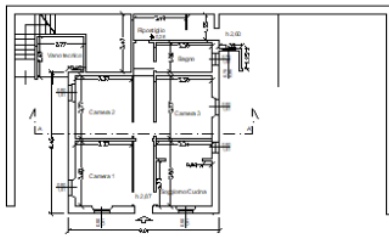


PIANTA PIANO PRIMO

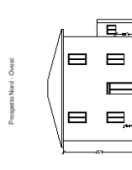
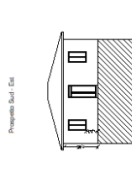
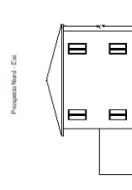
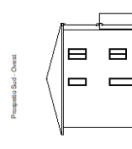
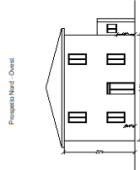
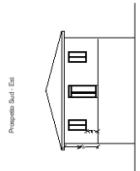
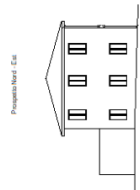
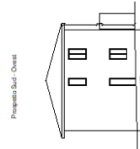
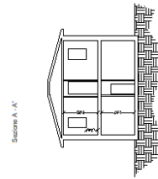
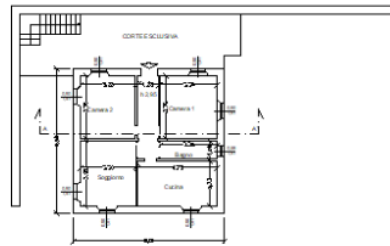


ATTUALE

PIANTA PIANO TERRA



PIANTA PIANO PRIMO



### Abitazione 3: Villetta (Cerreto).

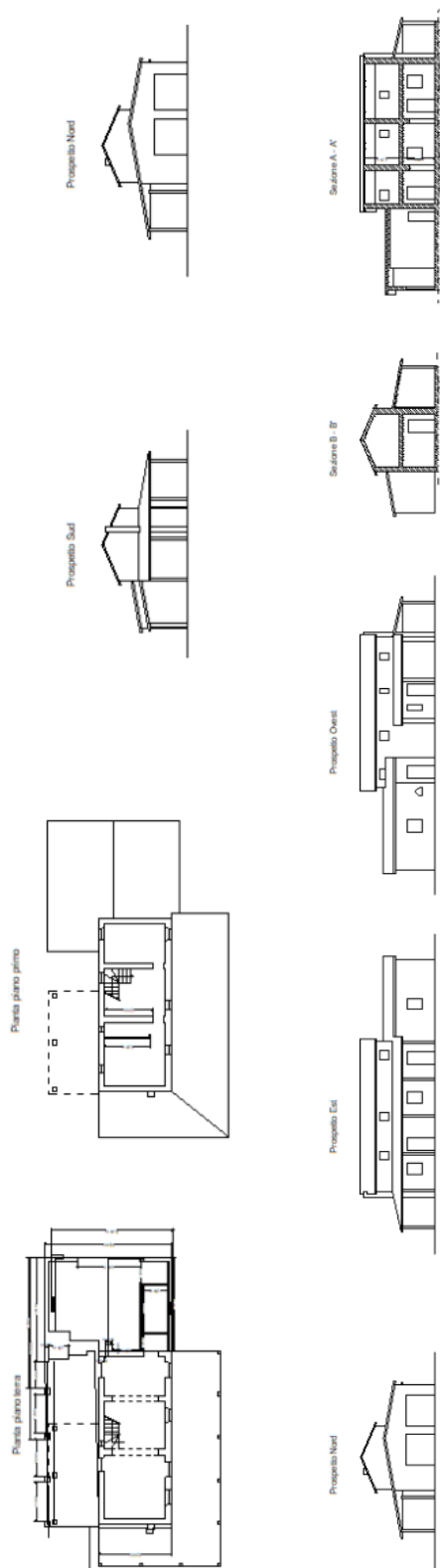
#### 1. Foto







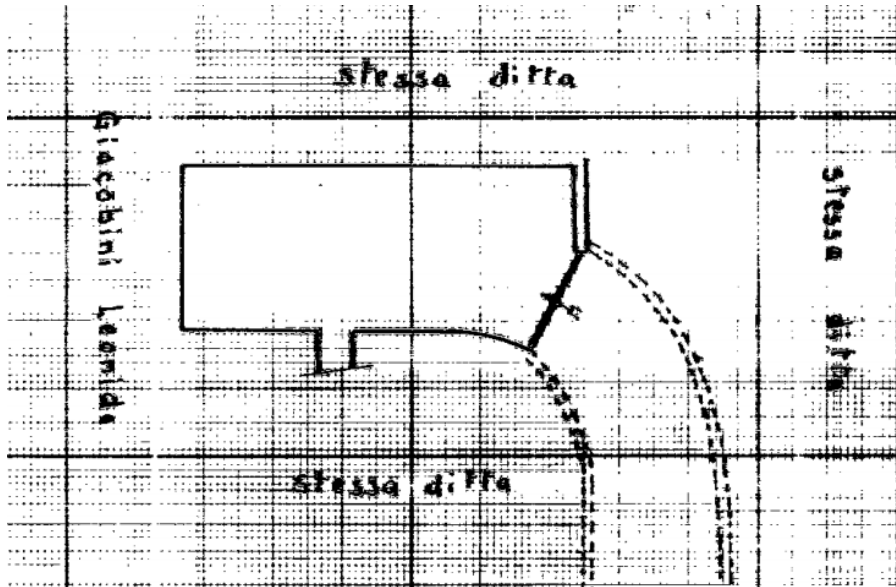
## 2. Restituzione grafica in CAD



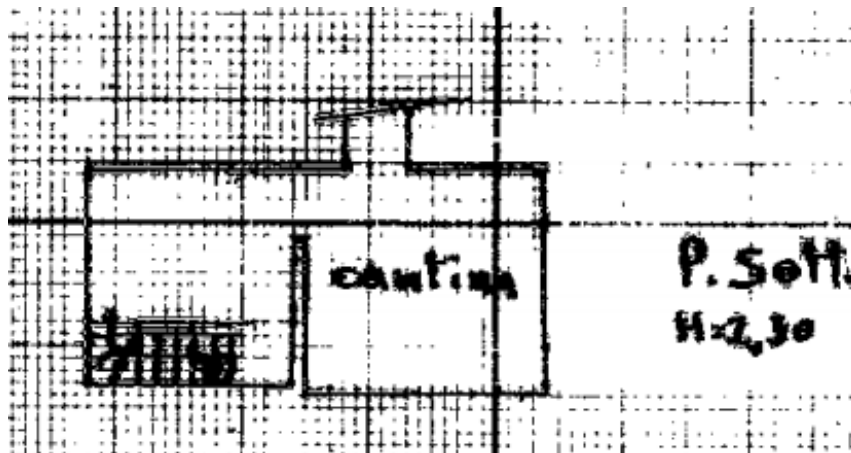
**Abitazione 4: Condominio monofamiliare (Porto San Giorgio).**

1. Piante, prospetti e sezioni catastali

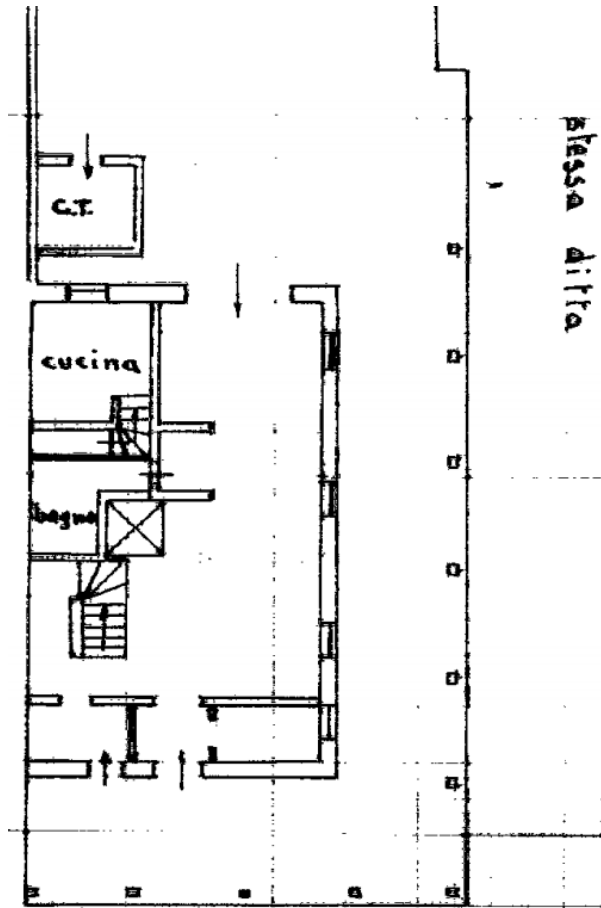
- Pianta garage



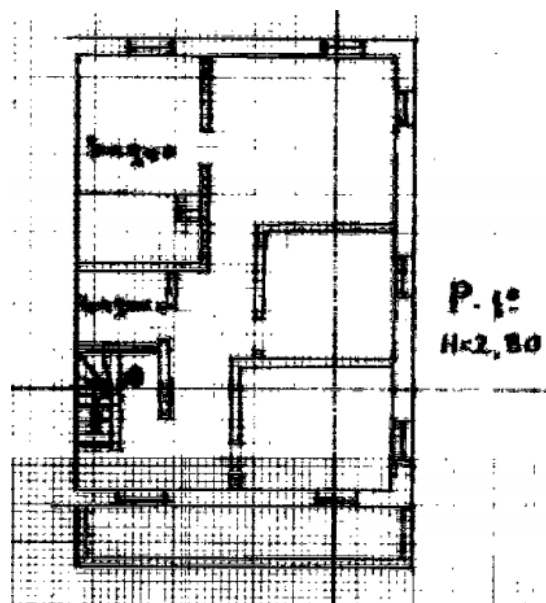
- Pianta cantina



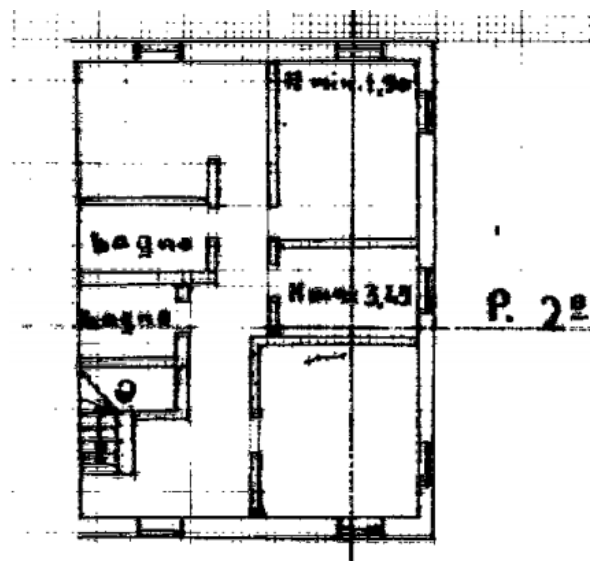
- Pianta piano terra



- Pianta piano primo



- Pianta piano secondo

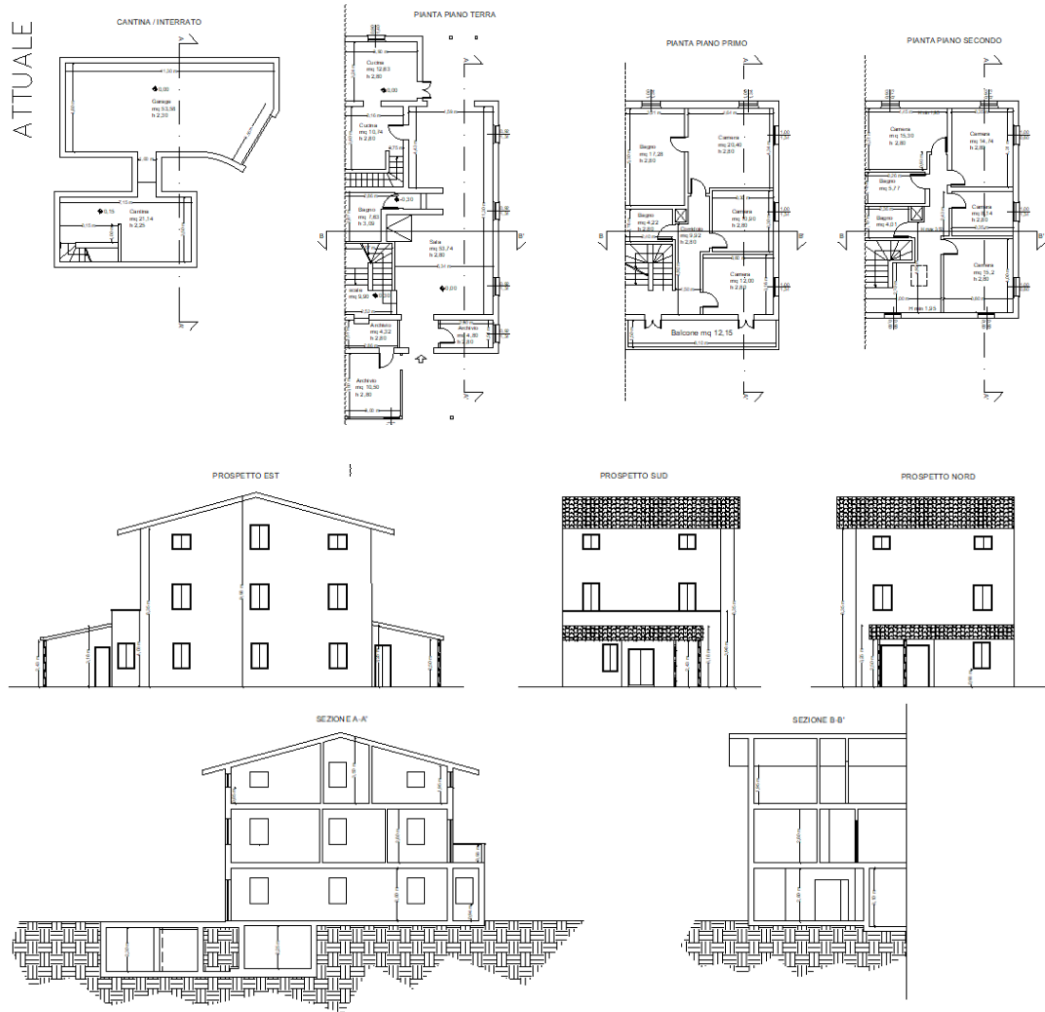


## 2. Foto





### 3. Restituzione grafica in CAD



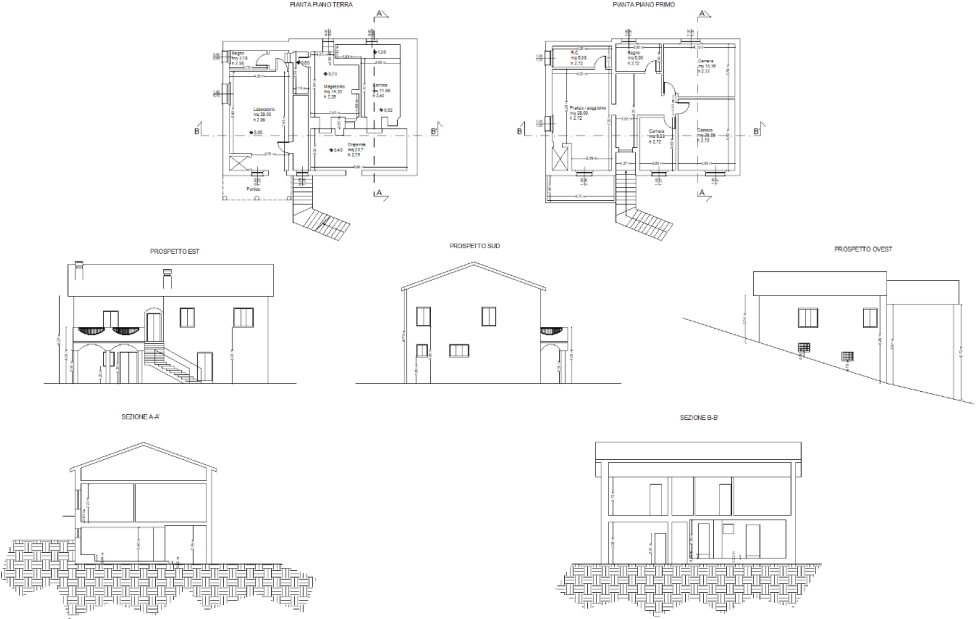






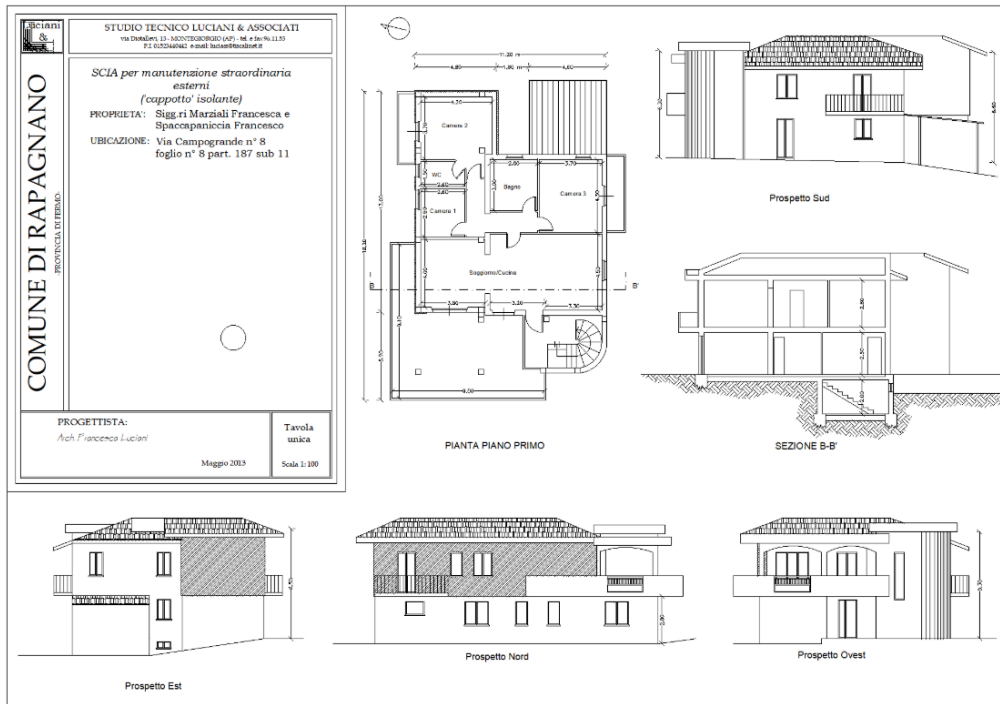


### 3. Restituzione grafica in CAD



## Abitazione 6: Villa (Rapagnano).

### 1. Piante, prospetti e sezioni catastali



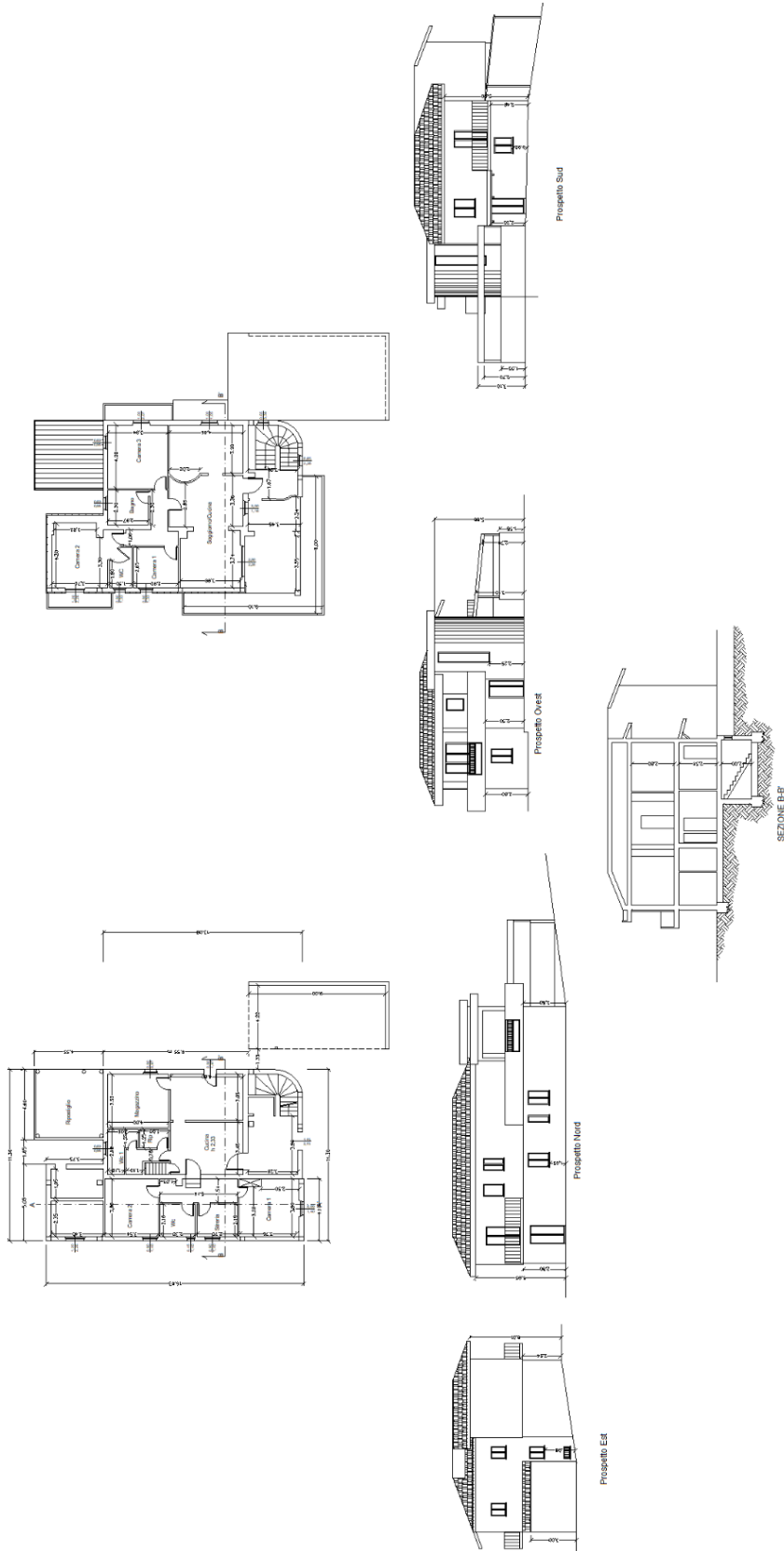
### 2. Foto







### 3. Restituzione grafica in CAD



## Abitazione 7: Villetta (Montegiorgio).

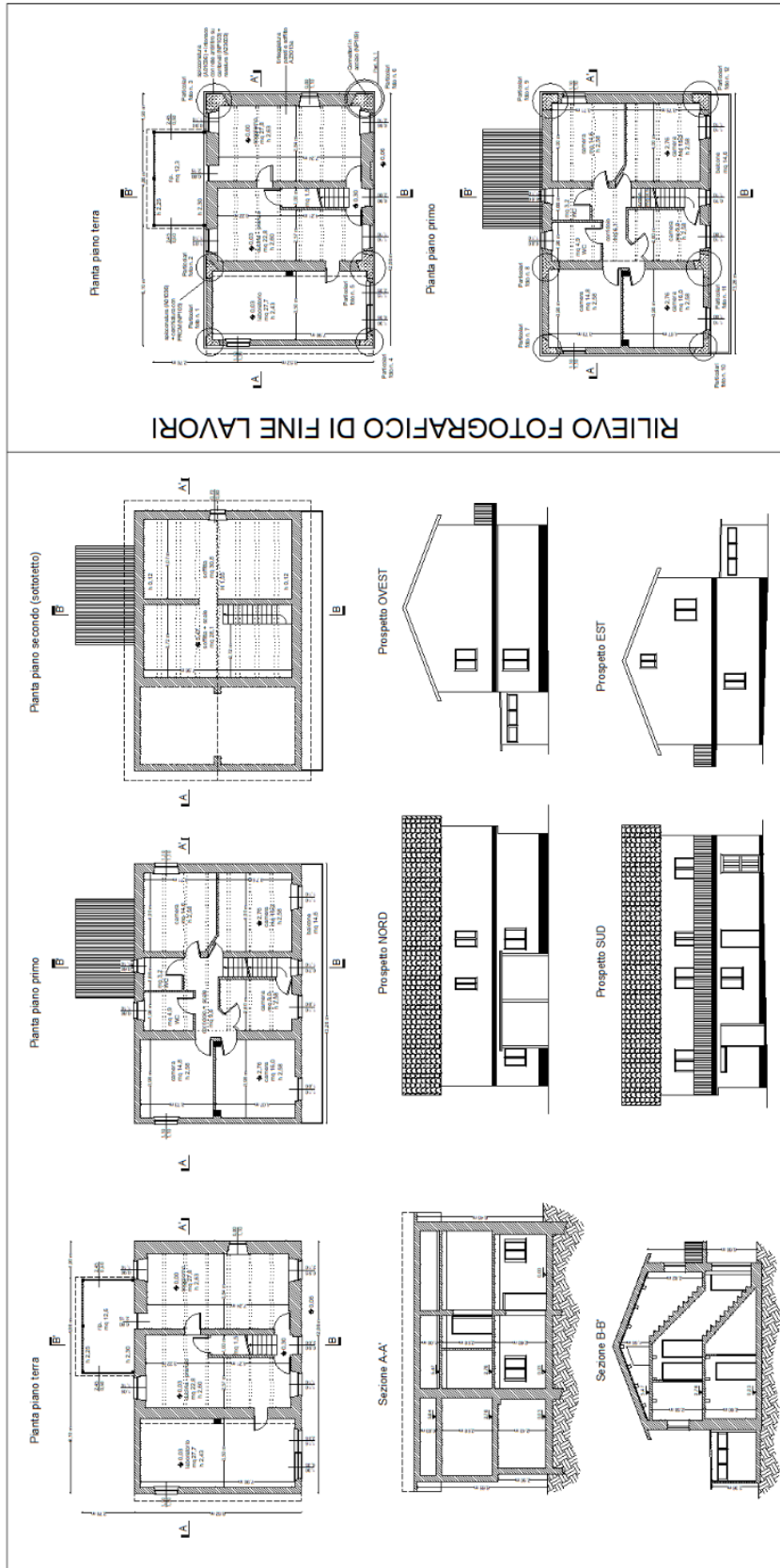
### 1. Foto





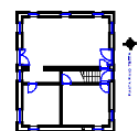
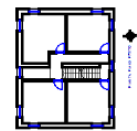
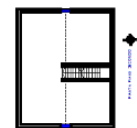
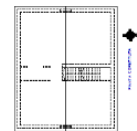
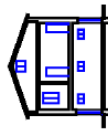
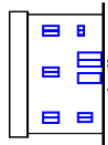
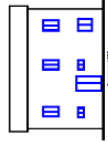
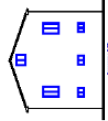
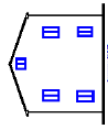


## 2. Restituzione grafica in CAD



## Abitazione 8: Villetta monofamiliare (Massa Fermana).

### 1. Piante, prospetti e sezioni catastali



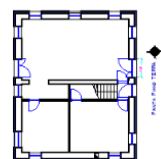
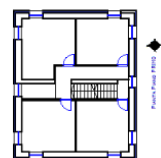
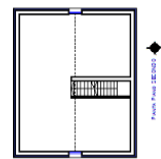
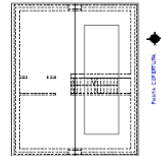
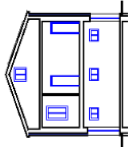
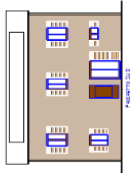
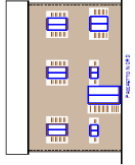
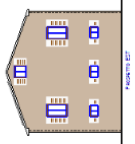
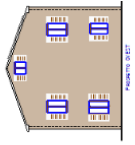
STATO ASSEVERATO CON C.E. N° 1556 DEL  
30-01-2020 E D.I.A. N° 2145 DEL 24-12-2010

2. Foto



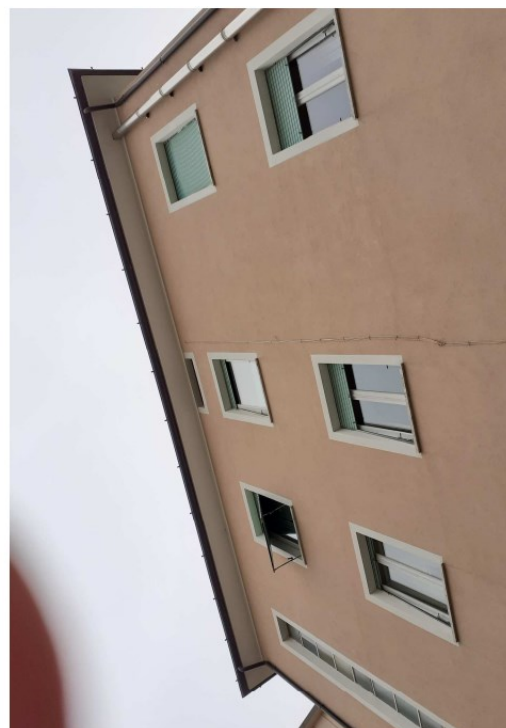


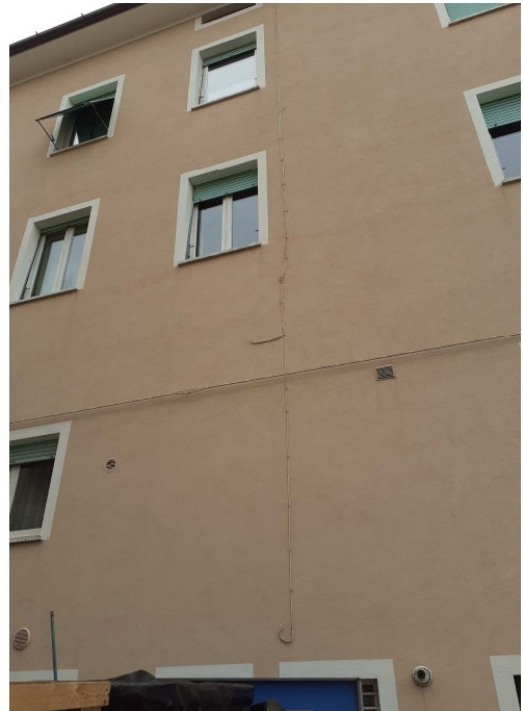
### 3. Restituzione grafica in CAD





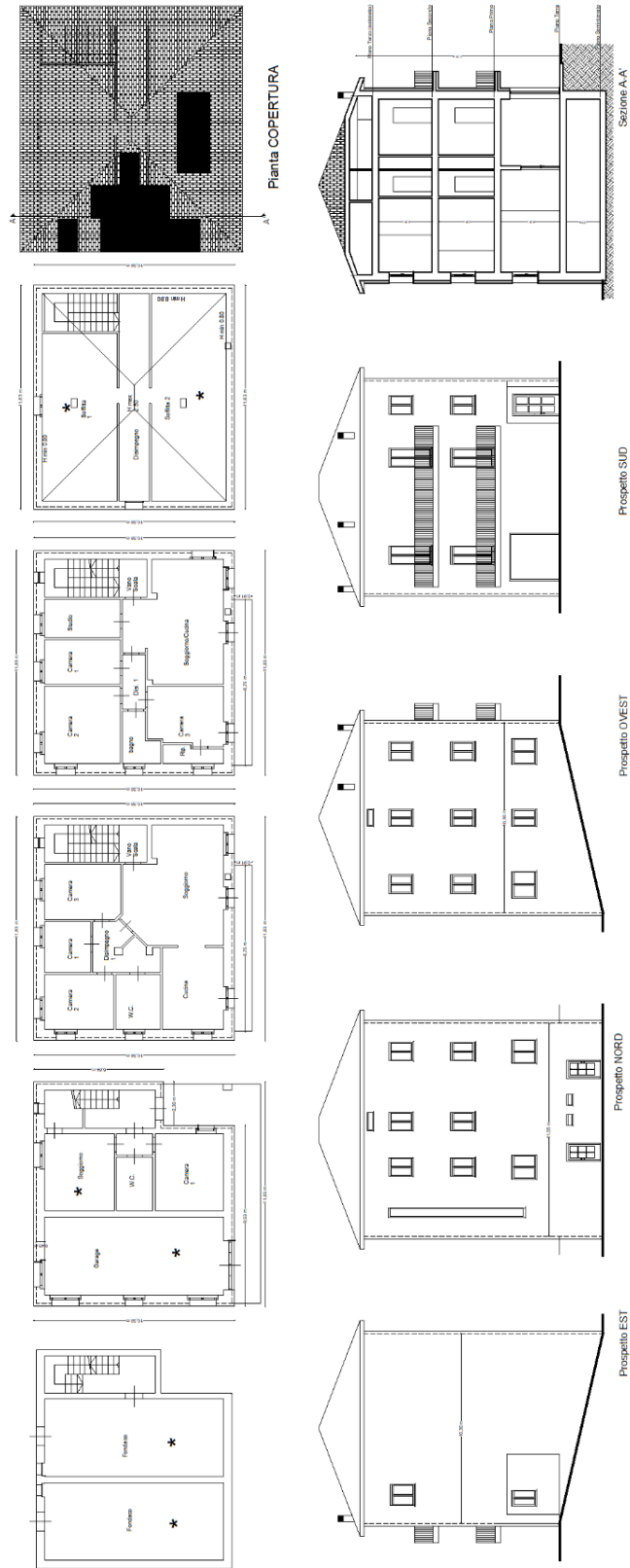
2. Foto





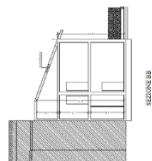
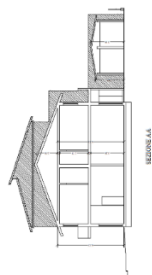
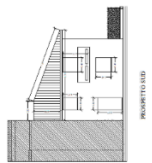
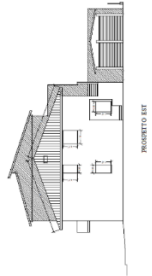
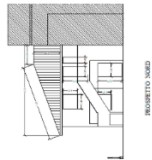
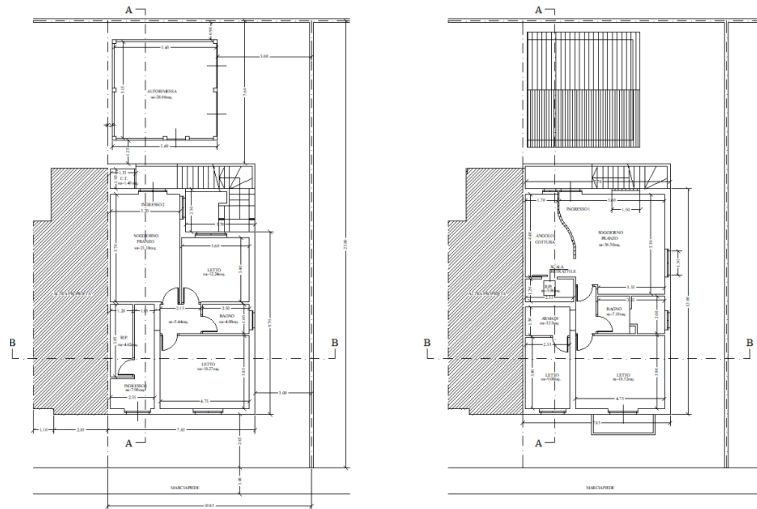


### 3. Restituzione grafica in CAD



## Abitazione 10: Condominio monofamiliare (Porto Sant'Elpidio).

### 1. Piante, prospetti e sezioni catastali



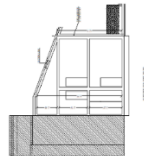
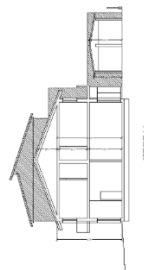
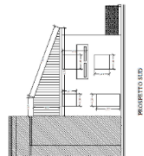
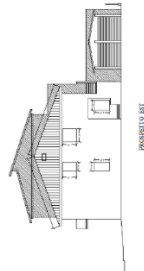
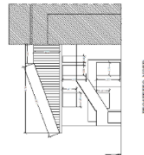
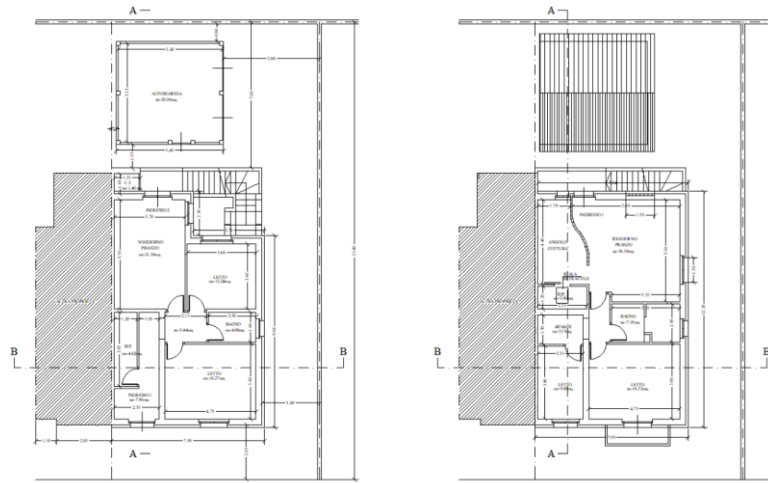
2. Foto







### 3. Restituzione grafica in CAD



## Bibliografia e sitografia

- <https://www.wekiwi.it/main/efficientamento-energetico/#:~:text=Quando%20si%20parla%20di%20efficientamento,di%20produzione%20o%20di%20consumi.>
- <https://www.sorgenia.it/guida-energia/efficientamento-energetico-cose>
- <https://www.acea.it/guide/efficientamento>
- <https://www.eco-bonus.it/decreto-efficienza-energetica-2020-la-tabella-riassuntiva/>
- Superbonus 110% detrazioni per interventi di efficientamento energetico, sisma bonus, fotovoltaico, colonnine di ricarica di veicoli elettrici, eliminazione delle barriere architettoniche (Agenzia entrate)
- <https://www.lavorincasa.it/effettuare-un-rilievo-architettonico/>
- <https://www.edilnet.it/guida/quanto-costa-un-rilievo-architettonico-576>
- Tesi di Laurea: Le reti Bayesiane come strumento di supporto alle decisioni aziendali: il caso della soddisfazione clienti (Università Cà Foscari di Venezia).