



Politecnico di Torino

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

Comunità energetiche: modelli per soddisfare la domanda energetica della città di Roma



Relatori:

Prof.ssa Gugliemina Mutani

Prof. Davide Astiago Garcia

Prof. Francesco Mancini

Tesi aziendale presso:

ecosistemi

Candidata

Emanuela Fabiano

Ottobre 2021



Politecnico di Torino

*Ai miei genitori,
da cui ispirarsi, a cui aspirare*



INDICE

Capitolo 1.....	7
Inquinamento: le cause e gli effetti.....	7
1.1 Emissioni di gas serra: soddisfare il presente tutelando il futuro	7
1.2 Accordi internazionali a tutela dell'ambiente.....	12
1.2.1 UNFCCC: i primi passi per le azioni sul clima	13
1.2.2 Il protocollo di Kyoto	13
1.2.3 L'Accordo di Parigi	14
1.3 Il parco edilizio residenziale: una causa di inquinamento	15
1.4 Fonti rinnovabili	18
Capitolo 2.....	21
Scenario energetico del parco edilizio Italiano.....	21
2.1 Fabbisogno energetico del settore residenziale italiano	21
2.2 Legislazione italiana ed efficienza energetica	22
2.2.1 Legge n. 373/76	23
2.2.2 Legge 10 del 09/01/1991	24
2.2.3 DPR n. 412/1993	24
2.2.4 Direttiva 2002/91/CE.....	26
2.2.5 Decreto legislativo n. 192 del 19 agosto 2005.....	27
2.2.6 Decreto legislativo n. 311 del 29 dicembre 2006	27



2.2.7 Decreto del Presidente della Repubblica n. 59 del 2 aprile 2009 ...	28
2.2.8 Decreto Ministeriale 26 giugno 2009	28
2.2.9 Decreto legislativo n. 28/2011	28
2.2.10 Legge 90 ed attuazione dei decreti interministeriali.....	29
2.3 Il Patto dei Sindaci e le azioni a livello territoriale	29
Capitolo 3.....	32
Roma: inquadramento territoriale e parco edilizio	32
3.1 Roma.....	32
3.2 Suddivisione del territorio e popolazione	34
3.3 Edifici residenziali romani.....	37
Capitolo 4.....	45
Modelli energetici e stima del fabbisogno energetico del parco residenziale romano	45
4.1 Introduzione.....	45
4.2 Questionario ed analisi statistica del database.....	48
4.3 Il modello energetico	55
4.3.1 Correlazioni ed analisi di regressione.....	57
4.3.2 Modello energetico per il riscaldamento in edifici non riqualificati	57
4.3.3 Modello energetico per il riscaldamento in edifici riqualificati	66
4.3.4 Acqua Calda Sanitaria	70
4.3.5 Elettricità	72



4.3.6 Raffrescamento	78
4.4 Confronto dei risultati dei modelli <i>bottom-up</i> e <i>top-down</i>	80
Conclusioni	86
Bibliografia	87
Appendice A	89



Politecnico di Torino



Capitolo 1

Inquinamento: le cause e gli effetti

1.1 Emissioni di gas serra: soddisfare il presente tutelando il futuro

La sfida principale del ventunesimo secolo è riuscire ad abbattere le emissioni inquinanti derivate dalle attività dell'uomo, mantenendo e migliorando la qualità della vita sulla Terra. A tal fine è opportuno introdurre il concetto di sviluppo sostenibile. Lo sviluppo sostenibile è definito nel Rapporto Brundtland del 1987 come: *“far sì che esso soddisfi i bisogni dell'attuale generazione senza compromettere la capacità di quelle future di rispondere alle loro.”* *“Lo sviluppo sostenibile, lungi dall'essere una definitiva condizione di armonia, è piuttosto processo di cambiamento tale per cui lo sfruttamento delle risorse, la direzione degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico e i cambiamenti istituzionali siano resi coerenti con i bisogni futuri oltre che con gli attuali”* [1]. Lo sviluppo sostenibile nasce dunque per poter tutelare il diritto di ogni generazione, presente e futura, a poter vivere in un ambiente non contaminato dalle attività umane senza abbandonare però, il diritto di ogni individuo a vivere una vita dignitosa. È proprio da queste definizioni che è possibile rappresentare lo sviluppo sostenibile come l'intersezione di 3 pilastri della società odierna [Fig. 1], quali:

- Economia
- Società
- Ambiente



Fig. 1 Rappresentazione grafica del concetto di sviluppo sostenibile

Seguendo i concetti base dello sviluppo sostenibile, dunque, bisogna andare a curare le esigenze sociali ed economiche senza tralasciare gli aspetti ambientali modificando e migliorando i processi che causano le emissioni in ambiente delle sostanze inquinanti senza venire meno alle esigenze delle generazioni odierne e quelle future. Per questo motivo, nasce una sfida politica, sociale e tecnologica che porti cambiamenti sia nella vita quotidiana dei singoli, sia nelle scelte delle collettività. Tali cambiamenti stanno diventando sempre più urgenti date le grandi catastrofi ambientali registrati nell'ultimo decennio. Basti pensare alla crisi climatica che ha portato all'aumento delle zone desertificate con la conseguente estinzione di varie forme di vita, al continuo scioglimento dei ghiacciai che porta all'innalzamento del livello delle acque oceaniche, a periodi di profonda siccità in alcune parti del Pianeta e periodi di forti piogge, causando alluvioni ed uragani, in altre. Alla base di questo disequilibrio che si sta creando c'è l'innalzamento della temperatura media terrestre dovuta proprio alle emissioni di gas inquinanti in atmosfera. Tali gas, tra cui il più diffuso è l'anidride carbonica, sono gli artefici del

famoso Riscaldamento globale, poiché fanno sì che l'atmosfera assuma un comportamento simile ad una serra: i raggi solari normalmente entrano nell'atmosfera per poi essere parzialmente riflessi dalla superficie terrestre e reimmessi nello spazio. Con la presenza dei gas serra, la radiazione solare, che tenta di reimmettersi nel vuoto, viene nuovamente riflessa e bloccata nell'atmosfera causando un aumento della temperatura media terrestre (Fig. 2).

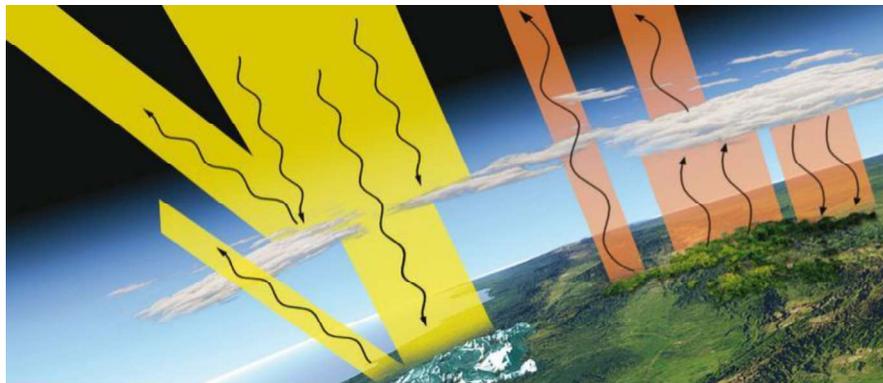


Fig. 2 Effetto serra: causa dell'aumento della temperatura media terrestre

È proprio l'aumento della temperatura il maggior responsabile della rottura dell'equilibrio dell'ecosistema terrestre ed è proprio su questo problema che si sta cercando di correre ai ripari. Risulta dunque fondamentale andare ad esaminare e migliorare i settori che sono i maggiori responsabili di tali emissioni. Come riportato in figura 3, secondo uno studio de "Il Sole 24 ore" la produzione di gas serra a livello mondiale è in costante aumento. Sono stati infatti analizzate le emissioni per i settori maggiormente influenti e quello che si evince è che l'andamento complessivo è in costante crescita e ciò è soprattutto dovuto alla produzione di energia elettrica. Di fatti, trascurando una lieve inflessione tra il 2008 ed il 2010 dovuta alla crisi economica globale, le emissioni dovute alla produzione



di energia elettrica rappresentano la principale fonte di gas serra con circa il 30% delle emissioni totali, mentre le attività di agricoltura, allevamento e trasporti incidono per il 18% seguiti dal settore industriale (17%), rifiuti e costruzioni (8,6%) ed altre eventuali fonti (8,5%).

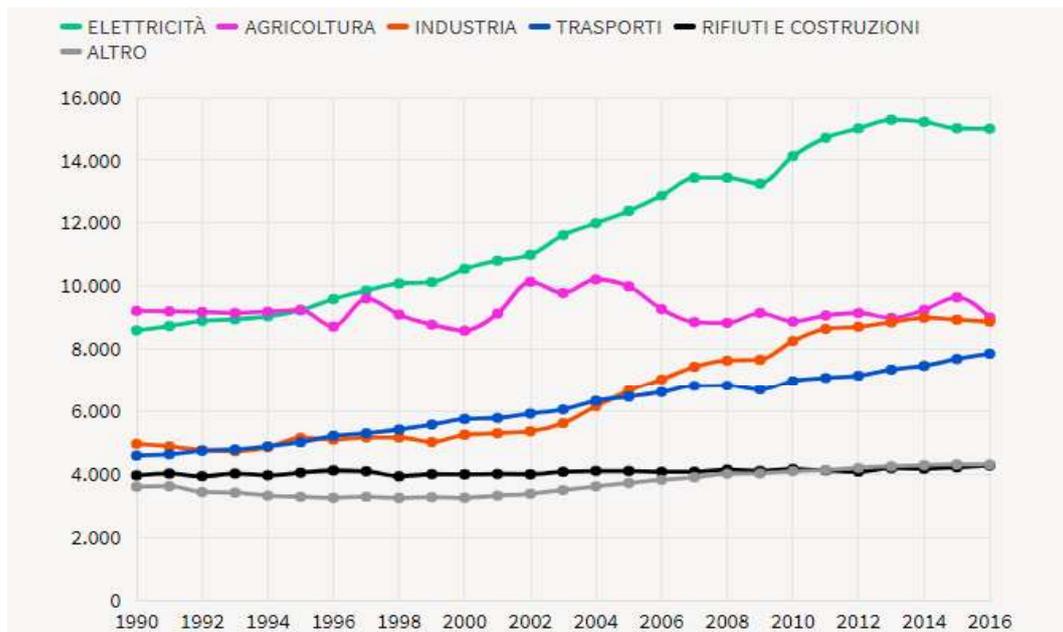


Fig. 2: Emissioni di Gas Serra nel corso degli anni nel mondo

Questo trend però non ha invertito ancora la sua corsa, infatti secondo l'ANSA, "Nel 2018 le emissioni globali di anidride carbonica legate alla produzione di energia sono aumentate dell'1,7%, raggiungendo il massimo storico di 33,1 Gt di CO₂" [3]. L'85% di questo incremento, secondo l'Agenzia Internazionale dell'Energia, è dovuto soprattutto alle emissioni di Stati Uniti, Cina ed India mentre l'Unione Europea sta iniziando a registrare una controtendenza grazie alle politiche ambientaliste che gli stati membri stanno adottando (Fig. 3).

50 anni di emissioni di CO₂ (1968-2018)

Emissioni di anidride carbonica (CO₂) derivanti dalla combustione di combustibili fossili per la produzione di energia e cemento. Il cambiamento di destinazione di uso del territorio non è compreso.

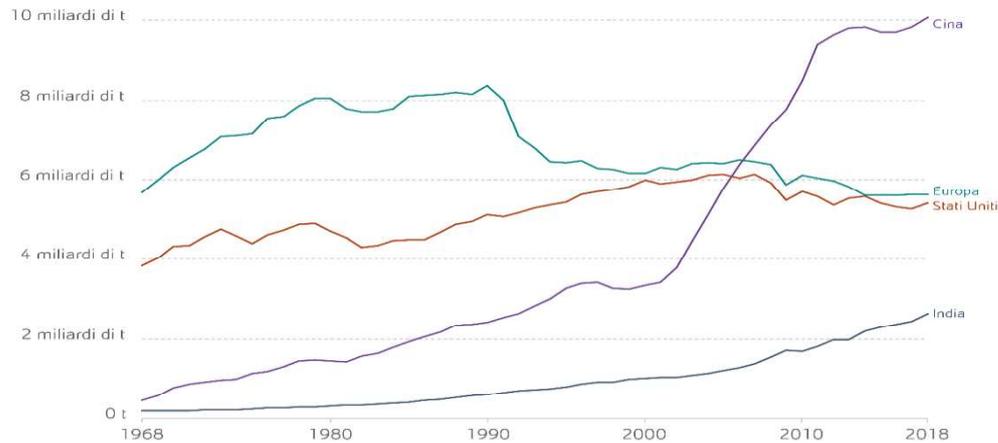


Fig. 3 Emissioni di anidride carbonica per USA, UE, Cina ed India

Infatti in Europa si sta registrando un aumento della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili e da nucleare mentre si sta riducendo la produzione da carbone e, nel contempo, è aumentata di circa il 15% quella prodotta da gas naturale, superando del tutto la produzione di energia da carbone. Da uno studio del Global Carbon Project, infatti, è emerso che nel periodo 2018-2019 il Vecchio Continente ha ridotto le emissioni dell'1,3% passando da 3,5 Gt di emissioni di CO₂ del 2017, a 3,1 Gt nel 2018 e 2,9 Gt nel 2019 [4]. Diversa tendenza si sta registrando invece per i Paesi in via di sviluppo. Infatti, come è possibile notare dalla Figura 3, le emissioni di CO₂ della Cina per la produzione di energia e cemento è circa il doppio delle emissioni di Europa e Stati Uniti: attualmente il Paese asiatico produce circa 9,481 Gt di CO₂ le quali risultano essere circa il doppio rispetto a quella emessa dagli Stati Uniti (4,888 Gt). Resta però importante andare a specificare che se si considera la produzione pro-capite, essendo la Cina 4 volte più popolata degli Stati Uniti, ogni singolo americano sarebbe responsabile del doppio delle emissioni



prodotte. Inoltre, come è possibile notare dagli andamenti riportati nella Fig. 3, fino al 1990 i maggiori produttori di CO₂ sono stati proprio Stati Uniti ed Europa, dunque per gli americani si cumulerebbero circa 1200 tonnellate pro-capite contro alle 120 tonnellate della Repubblica Popolare. A sostegno di tale tesi resta il fatto che: *“Nella classifica dei maggiori emettitori pro capite di anidride carbonica a livello mondiale negli ultimi 50 anni, dopo il primo posto assegnato agli USA, seguono Canada, Arabia Saudita, Germania, Olanda, Gran Bretagna, Finlandia, Norvegia, Giappone, Svezia, Israele, Francia, Italia”* [4]. Questo sta a significare che, anche se attualmente i Paesi in via di sviluppo non stanno curando in modo adeguato i problemi ambientali, i maggiori danni sono stati causati dalle nazioni attualmente sviluppate. Resta però indispensabile agire in modo compatto contro le emissioni delle sostanze inquinanti andando ad adottare delle politiche ambientaliste che hanno come fulcro il concetto di sviluppo sostenibile: dagli anni '90 del secolo scorso alcuni tra gli Stati economicamente più influenti e non, hanno iniziato a stilare e firmare degli accordi a tutela dell'ambiente come riportato nel sotto capitolo seguente.

1.2 Accordi internazionali a tutela dell'ambiente

Per poter limitare l'innalzamento delle temperature e limitare i danni dovute alle attività androgene sul Pianeta, sono vari gli accordi internazionali che sono stati stipulati. Di seguito tali accordi sono presentati in ordine cronologico:

- 1- Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici
- 2- Protocollo di Kyoto



3- Accordo di Parigi

1.2.1 UNFCCC: i primi passi per le azioni sul clima

Dal primo *Summit sulla Terra* tenutosi a Rio de Janeiro in occasione della *Conferenza sull'ambiente e lo sviluppo delle Nazioni Unite* nel 1992, nasce la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici. Questo rappresenta il principale trattato in materia dei cambiamenti climatici: “*Il suo obiettivo è impedire pericolose interferenze di origine umana con il sistema climatico mondiale*” [5]. Il trattato non pone direttamente dei vincoli sulle emissioni degli inquinanti ma crea la possibilità di legare Stati firmatari a rispettare i limiti imposti in altre conferenze, chiamati “*protocolli*”, uno tra i quali è il protocollo di Kyoto nel 1997 chiamato anche *UNFCCC*.

1.2.2 Il protocollo di Kyoto

Come detto precedentemente, il protocollo di Kyoto è stato adottato nel 1997 ma la sua entrata in vigore si è avuta solo nel 2005, dopo la ratifica della Russia. Gli Stati firmatari del protocollo sono 184, i quali si incontrano ogni anno per poter valutare i progressi fatti per il cambiamento climatico. Fino al 2020, il protocollo di Kyoto è stato l'unico vincolo legale che richiedeva ai singoli Stati una riduzione esemplare delle emissioni di gas serra rispetto a quelli registrati nel 1990 in percentuali diverse per i singoli Stati. Nonostante tutto tale protocollo interessava gli Stati corrispondenti solo al 12% delle emissioni globali.



1.2.3 L'Accordo di Parigi

“L'accordo di Parigi stabilisce un quadro globale per evitare pericolosi cambiamenti climatici limitando il riscaldamento globale ben al di sotto dei 2°C e proseguendo con gli sforzi per limitarlo a 1,5°C. Inoltre punta a rafforzare la capacità dei paesi di affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici e a sostenerli nei loro sforzi” [6]. Gli stati che ne fanno parte sono 183 tra cui gli stati membri dell'Unione Europea che hanno ratificato l'accordo il 5 ottobre del 2016, mentre l'entrata in vigore è stata il 4 novembre dello stesso anno. Questo è stato il primo accordo universale giuridicamente vincolante sui cambiamenti climatici che pone i seguenti obiettivi:

1. Mantenere l'aumento della temperatura media terrestre al di sotto del 2°C rispetto ai livelli preindustriali
2. Puntare a limitare l'aumento della Temperatura a 1,5°C
3. Fare in modo che le emissioni globali raggiungano il livello massimo al più presto possibile, riconoscendo che per i Paesi in via di sviluppo i tempi saranno più lunghi
4. Avviare comportamenti tali da garantire rapide riduzioni grazie ai progressi scientifici e tecnologici, in modo da avere un equilibrio tra le emissioni in atmosfera e quelle assorbite dall'ambiente

Affinché l'accordo entrasse in vigore, almeno gli Stati rappresentanti il 55% delle emissioni globali, hanno dovuto depositare i loro strumenti di ratifica.



1.3 Il parco edilizio residenziale: una causa di inquinamento

Per poter limitare le emissioni di gas inquinanti in atmosfera, bisogna andare a migliorare e a limitare i settori che rappresentano le maggiori cause di inquinamento. È con questa finalità che nasce questo lavoro di tesi, attuo a stimare i consumi imputabili al parco edilizio che attualmente rappresenta una tra le maggiori fonti di inquinamento. Sono infatti vari gli studi che sono stati condotti in Europa e nel mondo per stimare questi consumi e le relative emissioni. Nella Tabella 1 vengono presentati alcuni fra gli studi finora svolti.

Città	Pubblicazione	Autori e Riferimento bibliografico
Torino	<i>Building energy consumption modeling at urban scale: three case studies in Europe</i>	G. Mutani, V. Todeschi, V. Coors, J. Kaempf, M. Fitzky, INTELEC® 2018 Proceedings, doi: 10.1109/INTLEC.2018.8612382
Essen		
Ginevra		
Settimo Torinese	<i>A mixed methodology for defining a new spatial decision analysis towards low carbon cities</i>	Torabi Moghadam, P. Lombardi, G. Mutani,, <i>Procedia Engineering</i> 198, pp. 375 – 385, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.07.093.
Gran Mendoza	<i>Energy-use modelling for residential buildings in the metropolitan area of Gran Mendoza (AR)</i>	G. Mutani, M. Fontanive, M.E. Arboit., <i>TI-Italian Journal of Engineering Science</i> , Vol. 61+1(2), 2018, pp. 74-82, doi:10.18280/ijes.620204

Tab. 1. Pubblicazioni riguardanti la stima dei consumi energetici delle città indicate



Resta infatti fondamentale andare a creare un modello matematico che permetta di valutare il fabbisogno energetico del parco edilizio, in modo tale da poter pianificare ed ottimizzare la domanda di energia insieme alla sua produzione. Oggigiorno nella gestione dei flussi energetici, risulta essere necessario avere una pianificazione della domanda e dell'offerta, soprattutto a causa dell'aleatorietà delle fonti energetiche rinnovabili che sono una tra le strategie principali utilizzate per poter raggiungere gli obiettivi prefissati negli accordi internazionali tra i vari Stati. In questo modo infatti si va a diminuire drasticamente l'immissione in atmosfera di gas inquinanti imputabili alla produzione di energia elettrica soprattutto nelle vicinanze delle città dove la richiesta energetica è molto elevata. Infatti, secondo uno studio pubblicato sulla rivista internazionale "*Frontiers in Sustainable Cities*" [7], il 70% delle emissioni di anidride carbonica sono imputabili ai siti urbani. Questo è dovuto al fatto che, nonostante i centri urbani occupino solo il 2% della superficie terrestre, questi ospitano più del 50% della popolazione mondiale. Dalla ricerca emerge soprattutto che tra queste, 25 metropoli sono responsabili di circa il 52% delle totali emissioni urbane di gas serra e che le emissioni dovute alla produzione di energia elettrica e termica per gli edifici residenziali, rappresentano una percentuale che varia tra il 60 e l'80% delle emissioni totali per le città europee e nordamericane. Bisogna specificare che tra le 167 città studiate, solo 113 hanno fissato degli obiettivi futuri per cercare di ridurre le emissioni di gas inquinanti mentre altre 40, hanno fissato come obiettivo quello di neutralità del carbonio. Nella ricerca viene inoltre analizzato il consumo pro-capite delle città europee, australiane e statunitensi che si presenta molto più elevato rispetto a quelle registrate nei paesi in via di sviluppo. Questo è dovuto al fatto che la maggior parte

delle abitazioni sono state costruite in periodi storici durante il quale si dava poca importanza all'aspetto energetico. Basti pensare che la maggior parte del parco edilizio italiano è stato costruito prima della prima legge sull'efficienza energetica degli edifici che è stata varata solo nel 1976. Nella Tabella 2 sono riportati i dati *ISTAT* del censimento del 2001 e nella figura 5 è riportato un istogramma con i relativi dati. Da questi dati, risulta che il 40% delle abitazioni è stato costruito nel periodo che va dal 1962 al 1981 rappresentando in totale 10 850 323 abitazioni.

Epoca di costruzione (Censimento 2001)	Numero di abitazioni
<i>Prima del 1919</i>	<i>3 893 567</i>
<i>dal 1919 -1945</i>	<i>2 704 969</i>
<i>dal 1946 -1961</i>	<i>4 333 882</i>
<i>dal 1962 -1971</i>	<i>5 707 383</i>
<i>dal 1972-1981</i>	<i>5 142 940</i>
<i>dal 1982 -1991</i>	<i>3 324 794</i>
<i>Dopo il 1991</i>	<i>2 161 345</i>

Tab. 2. Epoca di costruzione del parco edilizio italiano raccolti dal censimento svoltosi nell'anno 2001

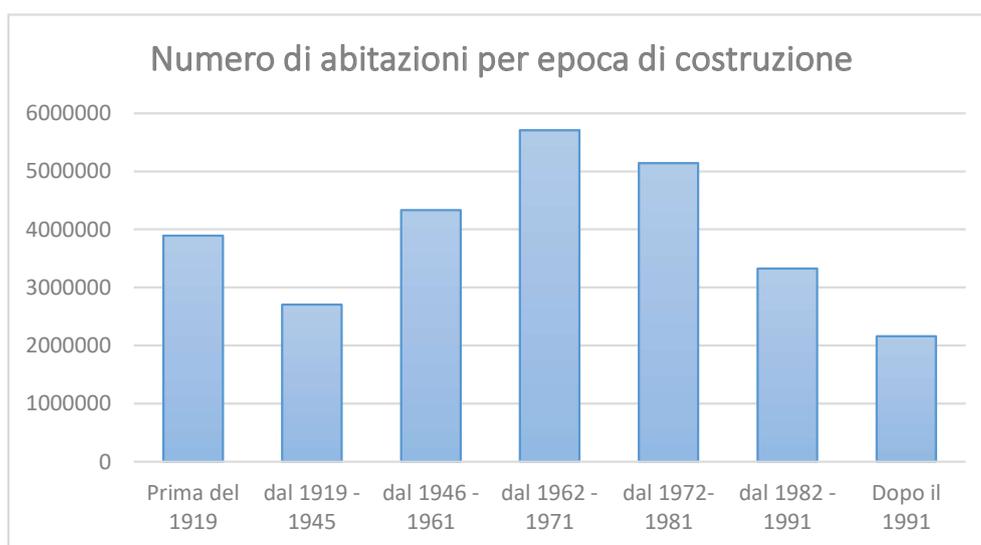


Fig. 5. Epoca di costruzione prevalente del parco edilizio italiano secondo il censimento del 2001



È per questo che si rende necessario agire sulla riqualificazione del parco edilizio che in Europa risulta essere responsabile del 40% del consumo energetico e del 36% delle emissioni di gas serra mentre in Italia sono imputabili a questo settore circa il 27% delle emissioni climalteranti con un consumo di circa 47 Mtep di energia per una spesa di 40,8 miliardi di euro per le famiglie [9]. Le città, dunque, hanno un'alta intensità di consumi energetici e, di contro, sono pochi i kilowatt installati di fonti rinnovabili, causando così alte immissioni di gas serra. Per questo motivo la comunità europea sta cercando di ridurre gli effetti inquinanti partendo proprio dalle città. Sono infatti varie le politiche di riqualificazione del parco edilizio e di produzione di energia in loco, che stanno nascendo in tutta Europa. Nello specifico in Italia con il Decreto Legge n. 34 del 19 maggio 2020 è entrato in vigore il così detto *Superbonus* che si va ad affiancare alle incentivazioni già concesse con l'*Ecobonus*. Sia il *Super* che l'*Ecobonus* hanno la finalità di riqualificare il patrimonio edilizio andando sia a diminuire il fabbisogno energetico delle abitazioni sia ad installare fonti di energia rinnovabile che permettono sia la riduzione delle emissioni sia il raggiungimento di una futura indipendenza energetica dai Paesi confinanti.

1.4 Fonti rinnovabili

Come già introdotto, dopo i vari accordi internazionali sulle riduzioni dei gas climalteranti, sono stati diversi i provvedimenti che i singoli stati hanno adottato per poter diminuire le emissioni di gas serra in ambiente. Considerando che uno tra i settori colpevole delle maggiori emissioni di gas serra è quello dell'elettricità, è



stato trovato un modo alternativo che consenta di mantenere lo stile di vita attuale riducendo le emissioni inquinanti. Tale strada alternativa è quella delle fonti rinnovabili che garantiscono la produzione di energia elettrica senza la produzione di inquinanti. Secondo i dati diffusi dall'*Eurostat* ed elaborati dall'*Openpolis*, l'andamento dell'utilizzo delle fonti rinnovabili dal 2004 al 2019 è riportata nella figura 4. Come è possibile notare, in Italia si sono raggiunte percentuali pari al 18,20% nel 2017 ed il trend segue quello dell'Unione Europea.

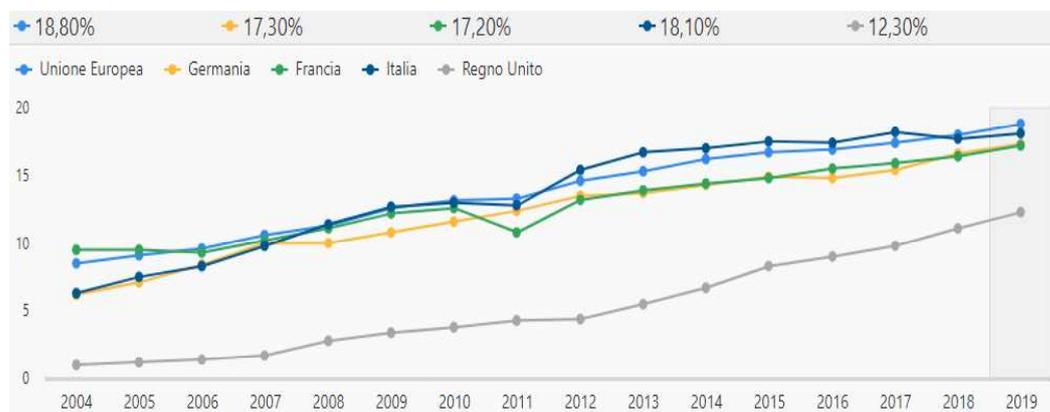


Fig. 4. Andamento della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili sul totale dell'energia consumata costruita con i dati aggiornati al 2021

Restano però lontani gli obiettivi prefissati dall'UE da raggiungere entro il 2030: infatti, secondo gli accordi prima citati, l'Unione Europea si impegna ad abbassare le emissioni di gas setta del 40% rispetto ai livelli misurati nel 1990 anche grazie all'installazione di fonti rinnovabili che dovrebbero raggiungere almeno la quota del 32%. In Italia, secondo i dati riportati nella tabella 1 raccolti dal GSE [8], Gestore dei Servizi Energetici, il 40,8% del mix elettrico nazionale è prodotto da fonti energetiche rinnovabili ma il trend è in continua crescita grazie anche agli incentivi statali che puntano sia all'installazione di fonti energetiche alternative.



Composizione del mix iniziale nazionale per la produzione dell'energia elettrica immessa nel sistema elettrico italiano nel 2018 (dato consuntivo)	
Fonti primarie utilizzate	%
<i>Fonti rinnovabili</i>	<i>40,8</i>
<i>Carbone</i>	<i>14,34</i>
<i>Gas Naturale</i>	<i>39,19</i>
<i>Prodotti petroliferi</i>	<i>0,53</i>
<i>Nucleare</i>	<i>4,14</i>
<i>Altre fonti</i>	<i>3</i>

Tab. 3. Dati a consuntivo del mix energetico italiano nell'anno 2018

Capitolo 2

Scenario energetico del parco edilizio Italiano

2.1 Fabbisogno energetico del settore residenziale italiano

Come presentato precedentemente, il parco edilizio italiano risulta essere costruito per la maggior parte, prima della prima legge sull'efficienza energetica degli edifici: circa il 65% degli edifici residenziali hanno più di 45 anni. Di questi oltre il 25% ha un consumo annuo che supera i 160 kWh/m² classificandosi in una classe energetica molto bassa. È per questo motivo che in Italia, il settore civile è responsabile attualmente del 17,5% delle emissioni di CO₂ dato che i consumi finali di energia sono stimati essere di circa il 45% del fabbisogno nazionale. Nella Tabella 4 sono riportati lo stato di conservazione delle abitazioni secondo uno studio del Ministero dello sviluppo Economico, mentre nella Tabella 5 sono presentati il numero di abitazioni per le diverse zone climatiche ed i metri quadri associati, calcolati considerando una superficie media uguale per tutte le epoche di costruzione [10]:

		Stato di conservazione							
		Ottimo		Buono		Mediocre		Pessimo	
Zona climatica	Zona A	1 060	20,21%	2 672	50,93%	1 332	25,39%	182	3,47%
	Zona B	153 554	21,63%	374 118	52,69%	161 533	22,75%	20 844	2,94%
	Zona C	657 071	24,01%	1 519 139	55,50%	505 024	18,45%	55 988	2,05%
	Zona D	829 538	28,64%	1 551 451	53,57%	464 356	16,03%	50 861	1,76%
	Zona E	2 020 939	37,84%	2 591 860	48,53%	658 495	12,33%	69 376	1,30%
	Zona F	284 263	38,89%	344 705	47,15%	91 680	12,54%	10 362	1,42%

Tab. 4. Stato di conservazione degli edifici del residenziale italiano



Zona climatica	Numero di abitazioni	m ²
Zona A	5 217	170 118 357
Zona B	710 079	170 118 357
Zona C	2 737 222	615 486 151
Zona D	2 896 204	734 707 925
Zona E	5 340 672	1 383 758 265
Zona F	731 009	145 735 486

Tab. 5. Numero di edifici e superficie media per le diverse zone climatiche

Come è possibile notare dalla tabella la maggior parte delle abitazioni si trova in zone climatiche fredde: il 43% delle abitazioni si trova nella Zona E, dove le dispersioni termiche invernali risultano essere maggiormente incidenti sul consumo globale delle abitazioni. Per poter raggiungere gli obiettivi prefissati negli accordi internazionali, risulta dunque, essere di fondamentale importanza un piano legislativo che preveda edifici efficienti e che rispettino l'ambiente. Per poter avere un quadro completo, di seguito verranno riportate le varie leggi varate nel corso degli anni sull'efficienza energetica degli edifici.

2.2 Legislazione italiana ed efficienza energetica

Nel corso degli anni sono varie le leggi varate per la cura dell'efficienza energetica:

1. Legge 376/76
2. Legge 10/91
3. DPR n. 412/1993
4. Energy Performance of Building Directive (EPBD) 2002/91/CE
5. Decreto legislativo n.192 del 19 agosto 2005



6. Decreto legislativo n.311 del 29 dicembre 2006
7. DPR n. 59/2009
8. DM 26 giugno 2009
9. Disegno legislativo n°28/2011
10. Legge 90 del 26 giugno 2015

2.2.1 Legge n. 373/76

Dopo la crisi petrolifera degli anni '70 e il conseguente aumento del relativo costo, il 30/04/1976 venne emanata la Legge 373 redatta per la riduzione del consumo energetico delle abitazioni. Essa si divideva in tre parti:

1. La prima parte era incentrata sulla progettazione, installazione, esercizio e manutenzione dell'impianto termico nonché gli annessi sistemi di termoregolazione
2. La seconda si basava sull'isolamento termico degli edifici
3. Nella terza erano riportate invece le sanzioni previste per la mancata osservanza della Legge

Successivamente la Legge 373/76 è stata integrata con altri 3 documenti:

1. DPR 1052/77: introduce i criteri di applicazioni della legge e i termini di presentazione della Relazione Tecnica
2. DM 10/03/1977: introduceva le seguenti grandezze:
 - Coefficiente di dispersione volumico C_d e i relativi limiti
 - Le zone climatiche ed i relativi Gradi Giorno



3. DM 30/07/1986: che aggiornava i valori di C_d considerando una nuova grandezza quale il fattore di Forma calcolato facendo il rapporto tra la Superficie disperdente e il Volume riscaldato [m^2/m^3]

2.2.2 Legge 10 del 09/01/1991

La Legge 10/91 contiene le: “*Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia*” [11]. Di questa, fondamentali sono gli articoli 4 ed 11, dove nel primo si ponevano le basi per la verifica del fabbisogno energetico normalizzato in funzione dei Gradi Giorno e del rapporto di forma mentre nel secondo si introducevano le norme per il risparmio energetico e l'utilizzo di fonti energetiche alternative quali le fonti rinnovabili. Questa legge introduceva con l'Articolo 28, l'obbligo di redigere una Relazione tecnica da parte dei progettista/i che successivamente doveva essere presentata all'ente comunale in duplice copia. Un ulteriore novità introdotta da questa legge è la Certificazione energetica degli edifici (Art. 30 Legge 10/91) che diventava obbligatoria nel caso di compravendita o nel caso di contratto di locazione. Il certificato aveva validità per 5 anni dalla data di emissione.

2.2.3 DPR n. 412/1993

Dopo la Legge 10/91 venne emanato il decreto di attuazione: DPR 412/1993 che introduceva le seguenti specifiche:

- Classificazione del territorio nazionale in funzione di Gradi Giorno (GG). La definizione di Gradi Giorno secondo la seguente normativa è



la “somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell’ambiente, convenzionalmente fissata a 20°C, e la temperatura media esterna giornaliera; l’unità di misura utilizzata è il grado-giorno (GG)” [12]. In questo modo il territorio italiano veniva suddiviso in 6 zone climatiche come riportato nella tabella 6:

	Numero di gradi giorno
Zona A	$GG \leq 600$
Zona B	$600 < GG \leq 900$
Zona C	$900 < GG \leq 1400$
Zona D	$1400 < GG \leq 2010$
Zona E	$2010 < GG \leq 3000$
Zona F	$GG > 3000$

Tab. 6. Suddivisione delle zone climatiche in base ai Gradi Giorno

- Classificazione degli edifici in base alla loro destinazione d’uso
 - E.1: a questa categoria appartengono gli edifici adibiti a residenza ed assimilabili (abitazioni rurali, civili, collegi, caserma e case vacanza etc.)
 - E.2: edifici adibiti ad uffici ed assimilabili
 - E.3: edifici adibiti ad ospedali, case di cura, cliniche private
 - E.4: edifici adibiti ad attività ricreative, associative o a luoghi di culto
 - E.5: edifici adibiti ad attività commerciali ed assimilabili
 - E.6: edifici adibite ad attività sportive
 - E.7: edifici adibiti ad attività scolastiche



- E.8: edifici adibiti ad attività industriali, artigianali ed assimilabili

Le attuali certificazioni energetiche si basano tuttora su tale classificazione.

- Individuazione dei criteri di progettazione energetica

Per la progettazione energetica vengono introdotti il FEN, quale Fabbisogno Energetico Normalizzato, ed il rendimento globale stagionale dell'impianto termico.

2.2.4 Direttiva 2002/91/CE

In ottemperanza al Protocollo di Kyoto, il Parlamento Europeo nel 2002 ha emanato la seguente direttiva con lo scopo di migliorare le prestazioni energetiche nell'edilizia così da abbattere l'impatto ambientale per il contenimento dell'inquinamento. Le disposizioni contenute nella direttiva prevedono che gli Stati membri:

1. Seguissero una metodologia per il calcolo del rendimento energetico e dunque delle prestazioni energetiche degli edifici
2. Impongano l'applicazione di requisiti minimi in materia di efficienza energetica per gli edifici di nuova costruzione e per quelli sottoposti ad importanti ristrutturazione con metratura superiore ai 1000 m²
3. Sviluppino un sistema di certificazione energetica degli edifici



4. Assicurino periodiche ispezioni delle caldaie e dei sistemi di condizionamento dell'aria insieme a delle consulenze per il miglioramento dell'efficienza dell'impianto

2.2.5 Decreto legislativo n. 192 del 19 agosto 2005

Il D.Lgs. 192/05 è stato emanato per recepire la Direttiva Europea 2002/91/CE. Questo aveva la finalità di promuovere il miglioramento della prestazione energetica degli edifici considerando variabili come le condizioni climatiche esterne ed interne. Il decreto definisce ed integra i criteri, le condizioni e le modalità per *“migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica, contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra posti dal protocollo di Kyoto, promuovere la competitività dei comparti più avanzati attraverso lo sviluppo tecnologico”* [13].

2.2.6 Decreto legislativo n. 311 del 29 dicembre 2006

Il D.Lgs. n°311 è stato pubblicato il 29/12/2006 ed è entrato in vigore il 2 febbraio dell'anno successivo. Questo è costituito da 10 Articoli che vanno a modificare ed a sostituire quelli a corredo de il Decreto Legislativo 192/2005. In particolare viene introdotto l' EP_i (Indice di Prestazione Energetica per la Climatizzazione Invernale) che viene presentato in funzione della zona climatica e del fattore di forma (S/V) dell'edificio. Inoltre viene introdotto in via transitoria l'AQE, ovvero l'Attestato di Qualificazione Energetica. L'AQE è un documento redatto da un professionista nel



quale vengono calcolati i fabbisogni di energia primaria, la classe energetica di appartenenza dell'edificio ed i corrispondenti valori massimi ammissibili riportati nella normativa.

2.2.7 Decreto del Presidente della Repubblica n. 59 del 2 aprile 2009

Il DPR n. 59/2009 ha lo scopo di garantire l'applicazione delle normative sull'efficienza energetica in modo omogeneo, coordinato e prontamente operativo su tutto il territorio nazionale. Con il DPR 59/2009 si ha la definizione dei requisiti minimi degli edifici e degli impianti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la climatizzazione estiva e per l'illuminazione artificiale degli edifici non residenziali.

2.2.8 Decreto Ministeriale 26 giugno 2009

Con il DM del 26 giugno 2009 si vanno a definire le linee guida nazionali per la certificazione energetica e deve contenere indicazioni sull'efficienza dell'edifici, con riferimento ai valori limite legislativi esplicitando la classe energetica dell'edificio certificato. Nel DM si specifica che la certificazione energetica non è prevista per box, cantine, depositi e strutture stagionali a protezione di impianti sportivi.

2.2.9 Decreto legislativo n. 28/2011

Tale decreto attua la Direttiva 2009/28/CE incentrata sull'incentivazione all'utilizzo di fonti rinnovabili imponendo l'obbligo di utilizzo delle energie



rinnovabili sugli edifici di nuova costruzione e sottoposti a ristrutturazioni importanti.

2.2.10 Legge 90 ed attuazione dei decreti interministeriali

Con i tre decreti interministeriali del 26 giugno 2015 si va a definire completamente il quadro normativo per l'efficienza energetica degli edifici. Questi decreti sono:

1. Decreto dei requisiti minimi degli edifici
2. Linea guida nuovo APE 2015
3. Decreto relazione tecnica di progetto

2.3 Il Patto dei Sindaci e le azioni a livello territoriale

Oltre che a livello nazionale, in Europa si sta operando anche a livello territoriale per combattere l'emissione dei gas alteranti. Una tra le principali azioni a livello locale per il clima è il Patto dei Sindaci che rappresenta un'iniziativa promossa dalla Commissione Europea che coinvolge le città affinché siano rispettati gli obiettivi prefissati sia con l'accordo *20-20-20*, sia quelli a lungo termine che vedono come data ultima il 2050. Con l'accordo *20-20-20* i vari Stati si impegnavano a ridurre del 20% le emissioni di anidride carbonica e dell'utilizzo di energia primaria mentre si prefissavano di aumentare sempre del 20% la produzione di energia prodotta da fonti rinnovabili, il tutto entro il 2020. Con il Patto dei Sindaci si riconosce che il cambiamento climatico è uno tra i principali problemi globali, che devono essere affrontati già a livello locale e regionale come riportato in uno dei passi: *“Noi, Sindaci firmatari del presente Patto, condividiamo*



la visione per un futuro sostenibile, a prescindere dalle dimensioni del nostro comune o dalla sua ubicazione geografica. Tale visione comune anima la nostra azione volta ad affrontare le sfide interconnesse: mitigazione degli effetti conseguenti al cambiamento climatico, adattamento ed energia sostenibile. Insieme, siamo pronti ad adottare misure concrete a lungo termine che forniscano un contesto stabile dal punto di vista ambientale, sociale ed economico per le generazioni presenti e per quelle future. È nostra responsabilità collettiva costruire territori più sostenibili, attraenti, vivibili, resilienti e ad alta efficienza energetica” [14]. Per poter raggiungere le finalità prefissate si segue una tabella di marcia comune che si fonda su una serie di passi:

Passi	Mitigazione	Adattamento
<i>Avvio e revisione dell'inventario di base</i>	<i>Preparare un inventario di base delle emissioni</i>	<i>Preparare una valutazione dei rischi e delle vulnerabilità indotti dal cambiamento climatico</i>
<i>Definizione e pianificazione degli obiettivi strategici</i>	<i>Presentare un Piano d'azione per l'energia sostenibile e il clima (PAESC), integrando gli aspetti di mitigazione e adattamento nelle pertinenti politiche, strategie e piani entro due anni dalla decisione del consiglio comunale</i>	
<i>Attuazione, monitoraggio e rendicontazione</i>	<i>Relazione di avanzamento ogni due anni dopo la presentazione del PAESC sulla piattaforma dell'iniziativa</i>	

Tab. 7. Passi, mitigazione ed adattamento per raggiungere gli obiettivi preposti dall'UE secondo il Patto dei Sindaci

Uno tra i documenti fondamentali del Patto dei Sindaci è dunque il PAESC, ovvero il Piano di Azione per l'Energia Sostenibile e per il Clima. In questo documento si va ad analizzare lo scenario attuale del Comune che ha preso parte al Patto dei Sindaci andando ad analizzare il fabbisogno energetico e le conseguenti emissioni



di gas inquinanti. Il PAESC “*Definisce le azioni per la mitigazione e l'adattamento poste in essere per conseguire gli obiettivi, unitamente alle scadenze temporali e alle responsabilità attribuite*” [14]. Risulta dunque essere fondamentale andare a definire lo scenario dei consumi energetici per poter calcolare i fabbisogni della città. Nasce la necessità di creare un modello per poter calcolare i consumi energetici considerando le caratteristiche intrinseche della città analizzata. A tal proposito questo lavoro di tesi va a costruire un modello che definisca il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale, la produzione di acqua calda sanitaria, per il consumo di energia elettrica e per il raffrescamento in una tra le città più grandi ed importanti d'Italia quale la città di Roma.

Capitolo 3

Roma: inquadramento territoriale e parco edilizio

3.1 Roma

Quello di Roma è il Comune più grande e più abitato della penisola italiana ed è quarta città a livello europeo per popolosità. L'Urbe è la Capitale della Repubblica sin dal 1871, è posizionata nel Centro Italia [Fig. 6], collocandosi in una pianura a circa 25 km dal mar Tirreno, ed occupa circa 1287,36 km² con una densità media di abitanti per km² pari a 2158,42.

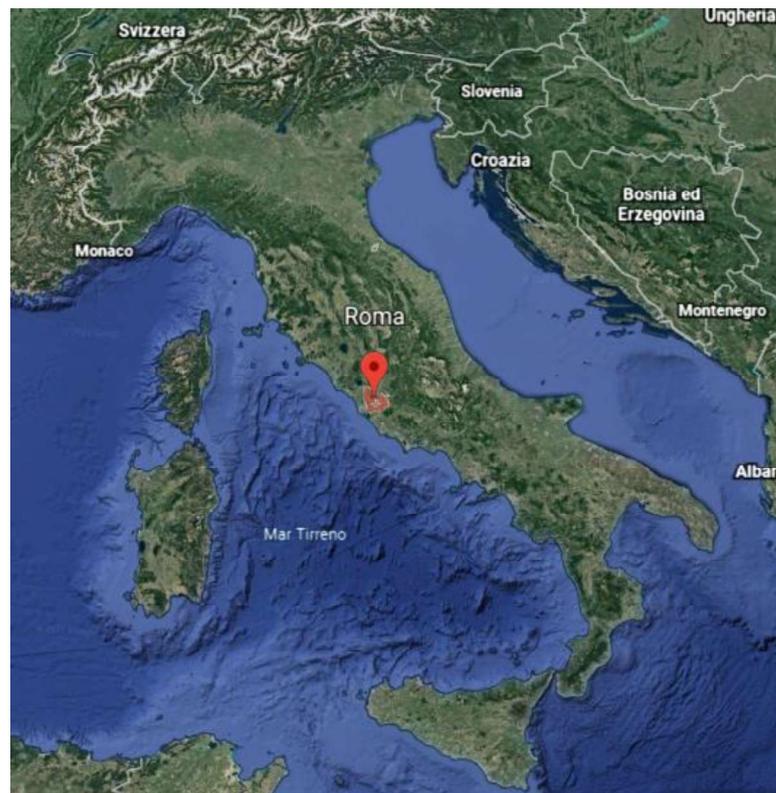


Fig. 6. Carta fisica della penisola italiana con evidenza sulla città di Roma



Per quanto riguarda il clima, Roma si presenta con il classico clima mediterraneo ed appartiene alla fascia Csa, si presenta ovvero con un clima temperato anche se le estati risultano essere calde ed afose. Secondo la normativa italiana la capitale si trova in una zona climatica D con i relativi Gradi Giorno pari a 1415°C. Il mese più freddo è quello di gennaio con una temperatura media di 7,5°C mentre per i mesi più caldi, quali luglio ed agosto, la temperatura media mensile si aggira verso i 25°C. La Tabella 8 presenta le temperature annuali massime, minime e medie.

	Min (°C)	Max (°C)	Media (°C)
Gennaio	3	12	7,5
Febbraio	3	13	8,0
Marzo	5	15	10,0
Aprile	8	18	13,0
Maggio	12	23	17,5
Giugno	16	28	22,0
Luglio	19	31	25
Agosto	19	31	25
Settembre	16	27	22
Ottobre	12	22	17
Novembre	8	16	12
Dicembre	5	12	9
Anno	10,5	20,7	15,6

Tab 8. Temperature medie mensili

Per quanto riguarda la piovosità, è stato stimato che in un anno cadono circa 800 millimetri di pioggia e le stagioni più piovose sono l'autunno e l'inverno mentre il soleggiamento è tipico del Centro-Sud: in media le ore di sole annuali sono circa 2470 con una media giornaliera che passa da 4 ore per i mesi invernali ai 10,5 dei mesi più caldi.

3.2 Suddivisione del territorio e popolazione

Il territorio di Roma Capitale è suddiviso secondo tre tipologie differenti:

- Amministrativa
- Urbanistica
- Storica

Secondo la suddivisione Amministrativa è possibile suddividere il territorio dell'Urbe in 15 Municipi che rappresentano il riordino e gli accorpamenti riportati nel 2013 dall'Assemblea Capitolina, delle 20 circoscrizioni istituite nel 1972. La suddivisione urbanistica si basa su quella amministrativa la quale viene ulteriormente scomposta, andando a identificare 155 suddivisioni totali che considerano le differenze del tessuto urbano. Infine la suddivisione storica comprende 116 comprensori toponomastici che sono organizzati secondo 4 gruppi:

1. 22 Rioni che fanno parte del centro storico della città, tutti all'interno delle mura Aureliane, e sono organizzati secondo la figura 7:



Fig. 7. Suddivisione in 22 Rioni del centro storico di Roma

2. 35 quartieri che si trovano al di fuori delle Mura Aureliane di cui i 3 quartieri del litorale (Fig. 8);

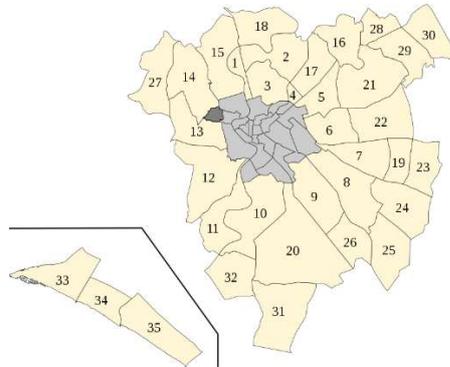


Fig. 8. I quartieri che circondano i 22 Rioni

3. 6 suburbi, come riportato nella tabella 9:

Suburbi	
S. I	Tor di Quinto
S. VII	Portuense
S. VIII	Gianicolense
S. IX	Aurelio
S. X	Trionfale
S. XI	Della Vittoria

Tab 9. I Suburbi della città di Roma

4. 53 ulteriori zone che compongono l'Agro romano, le quali risultano essere scarsamente popolate (Fig.9):

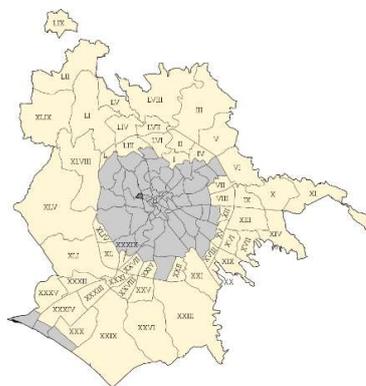


Fig.9. 53 zone periferiche di Roma



Secondo il censimento ISTAT del 2011 [15] la popolazione residente romana è di 2 617 175 che, seguendo la ripartizione amministrativa del territorio, è suddivisa tra le 20 circoscrizioni come riportato nella tabella 10:

Popolazione Censimento	I Municipio	II Municipio	III Municipio	IV Municipio	V Municipio	VI Municipio	VII Municipio	VIII Municipio	IX Municipio	X Municipio	XI Municipio	XII Municipio	XIII Municipio	XV Municipio	XVI Municipio	XVII Municipio	XVIII Municipio	XIX Municipio	XX Municipio
	102709	107454	46769	191707	167822	113221	113099	226338	116330	174086	124392	163180	209435	140457	130426	61318	123244	170944	134244

Tab 10. Popolazione residente per le singole circoscrizioni secondo i dati ISTAT 2011

Bisogna notare che il Municipio XIV non è riportato poiché nel 1992 tale circoscrizione si staccò per diventare il comune autonomo di Fiumicino. I dati riportati registrano un aumento della popolazione rispetto al censimento del 2001, di circa il 2,8%. Resta da specificare che in questa tabella viene riportata solo la popolazione risiedente ma non si tiene conto dei non residenti ma che abitano ugualmente nella città. Nella figura 10 viene riportata l'orto foto della città di Roma con le 20 circoscrizioni e la popolazione residente associata:



Fig. 10. Orto foto di Roma con i dati della popolazione per le singole circoscrizioni

3.3 Edifici residenziali romani

Quello romano è un parco edilizio molto variegato: sempre dal censimento del 2011 si stima che il numero di edifici a carattere residenziale siano 137 021 mentre quelli adibiti ad altri usi come quello commerciale, produttivo, turistico o utilizzati per servizi sono 36 156. Nello specifico nella figura 11 vengono riportati i dati per i singoli Municipi. Come è possibile notare nelle zone centrali gli edifici residenziali e quelle destinate ad altri usi, hanno numeri molto prossimi tra loro, mentre nelle zone più periferiche si ha un aumento degli edifici residenziali in accordo con il fatto che il centro della città sia un'attrazione sia turistica che commerciale. È di fondamentale importanza, ai fini di questa tesi, notare che la maggior parte degli edifici abbiano una destinazione d'uso a carattere residenziale:

il 79% del totale sono occupati da persone residenti, il che rappresenta un totale di interni, negli edifici ad uso residenziale, pari a 1 312 039 alloggi.

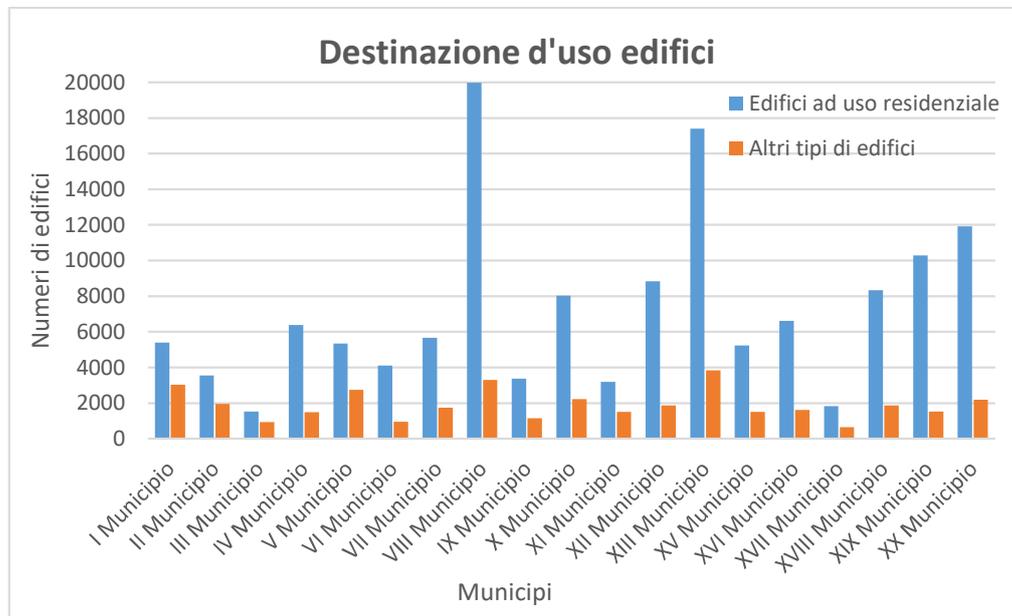
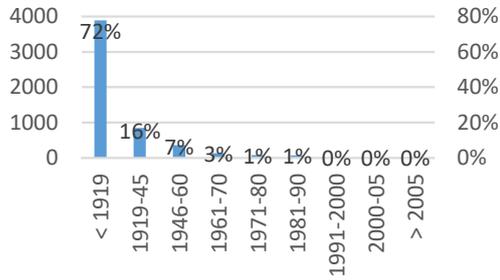


Fig. 11. Destinazione d'uso degli edifici romani

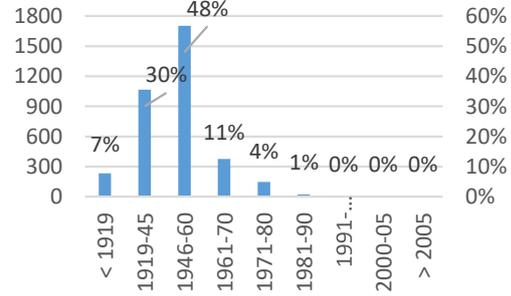
Un'altra importante suddivisione deve essere fatta in base all'epoca di costruzione degli edifici, infatti ogni periodo ha seguito, e segue, le tecniche di costruzione del momento, dettate sia dalle normative in vigore sia dalle novità introdotte grazie al progresso dell'ingegneria. Per poter avere un quadro ben definito, di seguito vengono riportati i grafici relativi alle singole circoscrizioni ricavati dai dati pubblicati dal censimento ISTAT 2011, riportanti la frequenza delle singole epoche di costruzione. Bisogna notare che le epoche sono state scelte seguendo sia le normative vigenti nelle epoche considerate, sia in base alle tecniche costruttive.



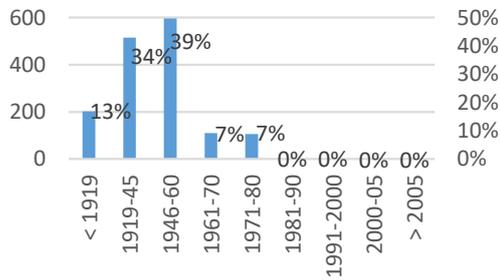
I Municipio



II Municipio



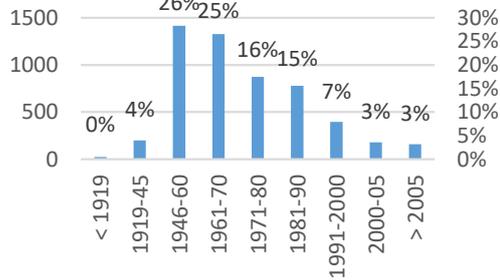
III Municipio



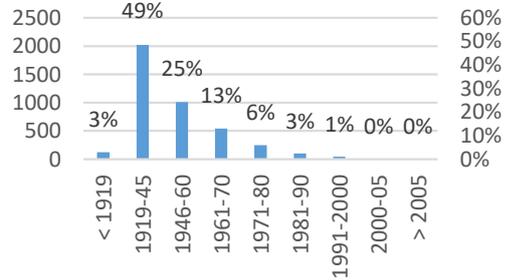
IV Municipio



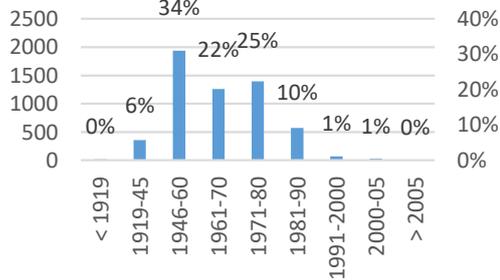
V Municipio



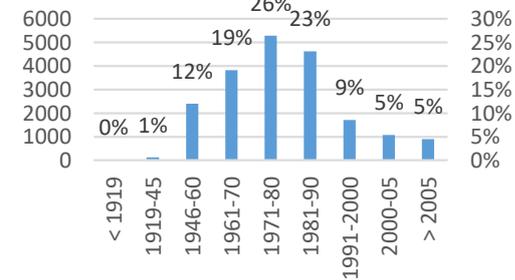
VI Municipio



VII Municipio

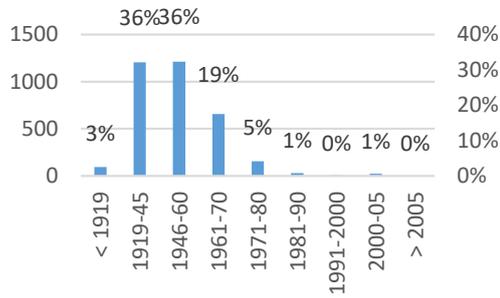


VIII Municipio

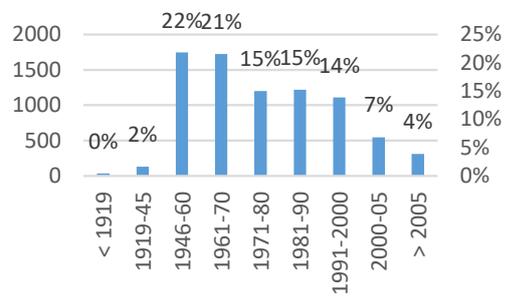




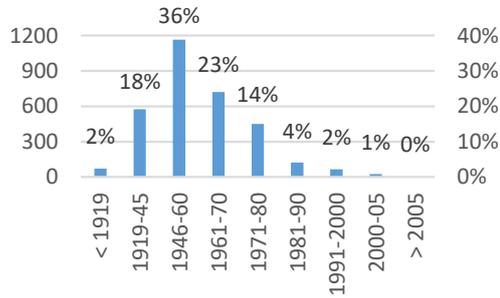
IX Municipio



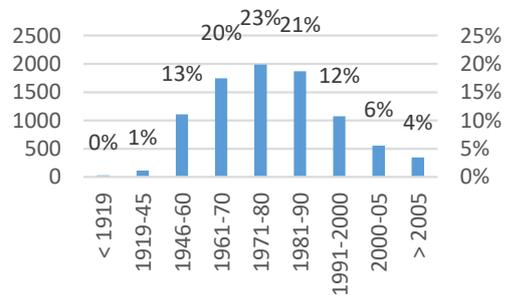
X Municipio



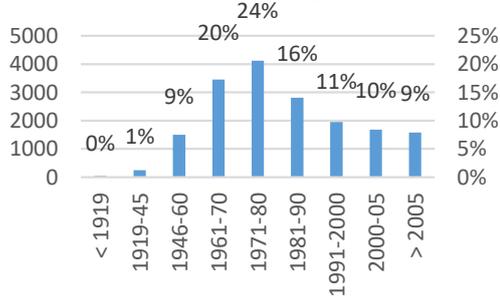
XI Municipio



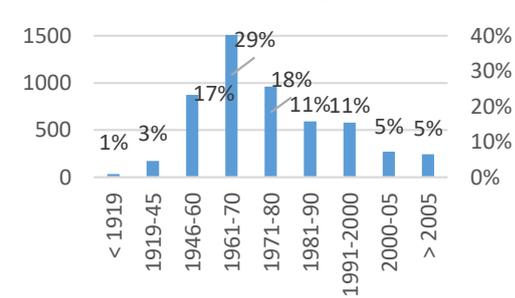
XII Municipio



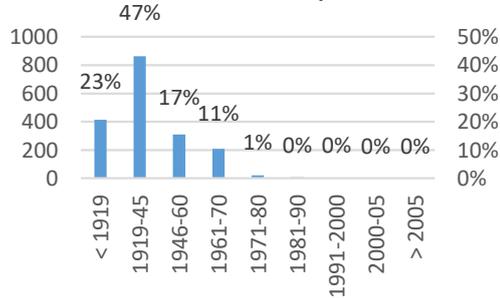
XIII Municipio



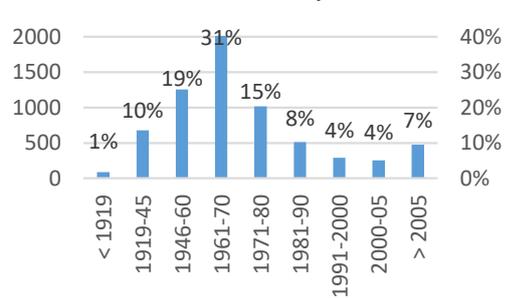
XV Municipio



XVII Municipio



XVI Municipio



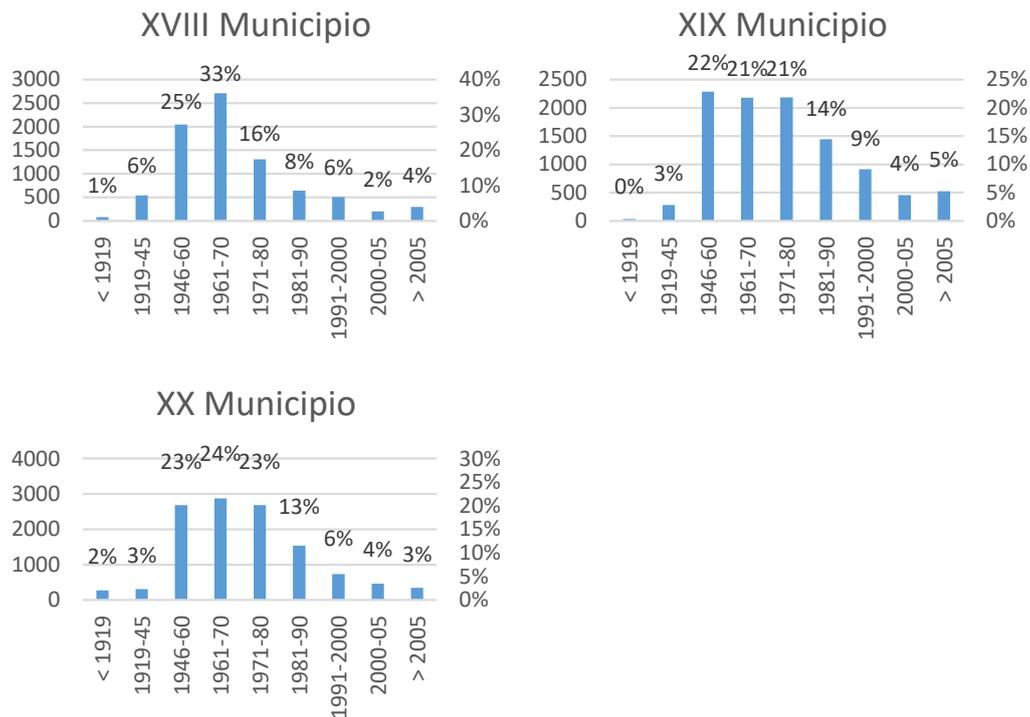


Fig. 12-31 Epoca di costruzione degli edifici per le 20 circoscrizioni

Come è possibile notare, la maggior parte degli edifici sono stati costruiti dopo il Boom economico, vale a dire dopo gli anni '50 fino al 1970-80, quando le politiche sul risparmio energetico non erano ancora state introdotte. Di contro sono pochi gli edifici che sono stati costruiti dopo gli anni '90: del totale, infatti, solo il 15% degli edifici hanno un'epoca di costruzione successiva al 1990 e che quindi, sono state costruite con le più attuali normative sul risparmio energetico. Resta inoltre da specificare che nei Municipi del centro di Roma gli edifici sono stati costruiti in epoche anche antecedenti al Boom economico: si noti che per il I Municipio il 72% degli edifici sono stati costruiti prima del 1919. Analizzando le tipologie costruttive più frequenti, legate come detto alle epoche di costruzione, si ricava il diagramma a torta della Figura 32, dove sono riportate le strutture più comuni, quali muratura

portante, strutture in calcestruzzo armato o altre tipologie come legno, acciaio, etc, e le loro relative percentuali di adozione nel parco residenziale romano.

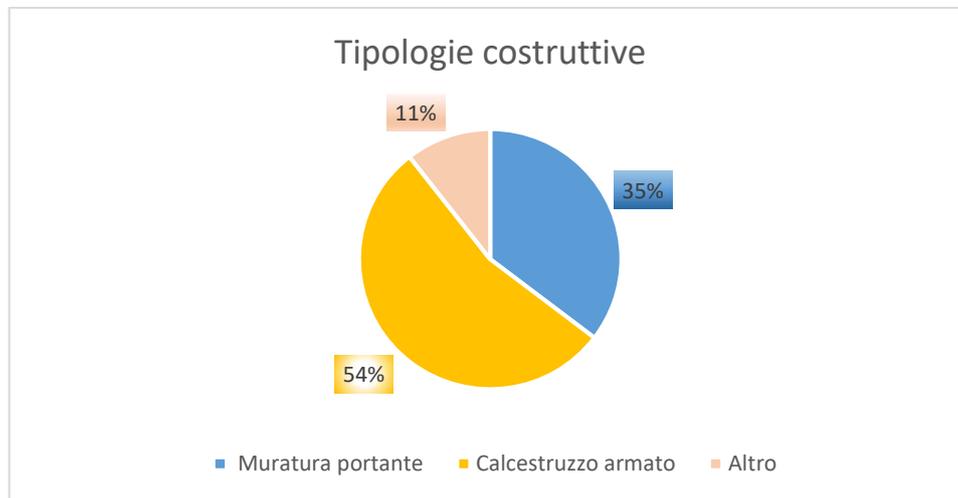


Fig. 32. Strutture portanti degli edifici residenziali romani secondo il censimento Istat 2011

Dal grafico è possibile notare che più della metà del parco edilizio romano è stato costruito con una struttura portante in calcestruzzo armato, tecnica basata sulla costruzione di pilastri verticali incastrati con travi orizzontali e solitamente la struttura viene completata con mura di tamponamento che si presenta, di norma, con uno spessore complessivo che varia tra i 30 ed i 45 cm. Questa tecnica costruttiva è stata largamente utilizzata nel periodo del dopoguerra, andando a confermare la tesi che il parco edilizio romano è stato costruito durante gli anni 50-80 (Tab.11; Fig. 33):

Prima del 1919	1919-1945	1946-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2000-2005	Dopo il 2005
4%	8%	19%	21%	19%	13%	7%	4%	4%

Tab. 11. Epoche costruttive prevalenti del parco edilizio romano

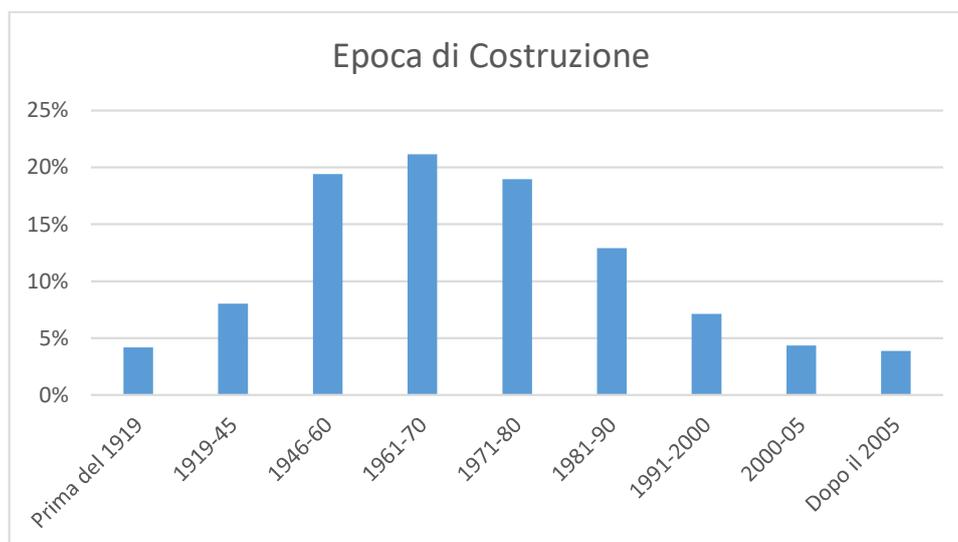


Fig. 33. Epoche costruttive prevalenti del parco edilizio romano

Questa suddivisione risulta essere fondamentale per il calcolo dei consumi energetici degli edifici: in base alle strutture adottate, varia la conducibilità, e dunque la trasmittanza, delle pareti, andando a condizionare in modo più o meno gravoso, sui consumi energetici dell'edificio. Di seguito (Tab. 12) vengono riportati dei valori medi di conducibilità delle varie strutture portanti a livello nazionale:

Spessore [cm]	Muratura in mattoni pieni intonacata sulle due facce [W/(m ² *K)]	Muratura in mattoni forati intonacata sulle due facce [W/(m ² *K)]	Pareti in cemento armato [W/(m ² *K)]	Pareti a cassa vuota con mattoni forati [W/(m ² *K)]
30	1,72	1,81	2,25	1,13
50	1,16	1,24	1,62	0,63
60	1,03	1,07	1,42	0,47

Tab. 12. Trasmittanza media delle pareti italiane

Un'altra importante caratteristica che è possibile trovare nei dati del censimento del 2011 è lo stato degli edifici: la classificazione viene fatta, così come per gli edifici italiani, seguendo 4 classi quale: ottimo, buono, mediocre e pessimo. Nella Figura 34 viene illustrato il diagramma a torta con i dati riportati dal censimento:



Fig. 34. Stato di conservazione degli edifici residenziali romani secondo i dati ISTAT 2011

Come è possibile notare, la maggior parte degli edifici si trovano in uno stato di conservazione buono-ottimo, andando a rappresentare l'87% degli edifici residenziali romani, seguendo mediamente le statistiche del parco edilizio italiano collocato in zona climatica D e riportate nella Tabella 3 del presente lavoro. Infine si vuole riportare il numero di abitazioni non occupate che è uguale a 118 531 mentre quelle occupate da persone non residenti sono 3727.



Capitolo 4

Modelli energetici e stima del fabbisogno energetico del parco residenziale romano

4.1 Introduzione

Una tra le sfide energetiche dei nostri tempi è pianificare la produzione di energia in base al fabbisogno. La pianificazione della produzione è un insieme di azioni che si trovano alla base dell'organizzazione delle risorse produttive così da soddisfare la richiesta da parte dell'utente finale e rendere ottimale il servizio andando a massimizzare la rapidità, la flessibilità e l'utilizzo delle risorse. Nasce dunque la necessità di prevedere la domanda richiesta dall'utente finale, così da poter adattare la produzione sia in termini quantitativi che temporali. A tal fine, questo lavoro di tesi ha la finalità di stimare il fabbisogno energetico di una tra i più importanti capoluoghi italiani quale la città di Roma. Per poter fare ciò è fondamentale andare ad introdurre quella che è la strategia utilizzata per la formulazione del modello. Si utilizza infatti un modello *bottom up – top down* [17]:

- *Bottom up*: viene costruito un modello matematico considerando le variabili che maggiormente incidono sui consumi della singola abitazione e successivamente viene implementato sulla Carta Tecnica Comunale utilizzando il software *ArcMAP*
- *Top down*: vengono considerati i consumi totali imputabili al settore residenziale consultando il Piano di Azione per l'Energia Sostenibile



(PAES) o dal Piano di Azione per l'Energia Sostenibile ed il Clima (PAESC)

Per poter verificare che i modelli ottenuti dalla metodologia *bottom up* siano validabili, si confrontano i risultati ottenuti dall'implementazione di tali modelli nell'ambiente *GIS* con quelli ricavati dal PAES e dal PAESC. La metodologia utilizzata nel seguente lavoro di tesi è presentata nel *flow chart* riportato in Figura 35, dove vengono presentati i passi seguiti per poter arrivare alla stima del fabbisogno energetico del residenziale romano il quale, secondo i dati ISTAT, rappresenta il 3% degli edifici residenziali italiani [18]. Come riportato nel *flow chart*, alla base del lavoro abbiamo 3 dati di input fondamentali quali:

1. Le informazioni raccolte durante il 15° Censimento della popolazione italiana (dati ISTAT 2011 [16])
2. La Carta Tecnica Comunale (CTC) a scala urbana [19] implementata con l'utilizzo del software *GIS (Geographical Information System)*
3. Database creato sulla base di un questionario sviluppato dai professori dell'Università della Sapienza di Roma

Le novità introdotte da questo lavoro rispetto alle pubblicazioni che sono state presentate nella Tab. 1, sono rappresentate dalla formulazione di un modello matematico che stimi i fabbisogni energetici per:

1. Riscaldamento
2. Raffrescamento
3. Produzione di Acqua Calda Sanitaria (ACS)

4. Elettricità

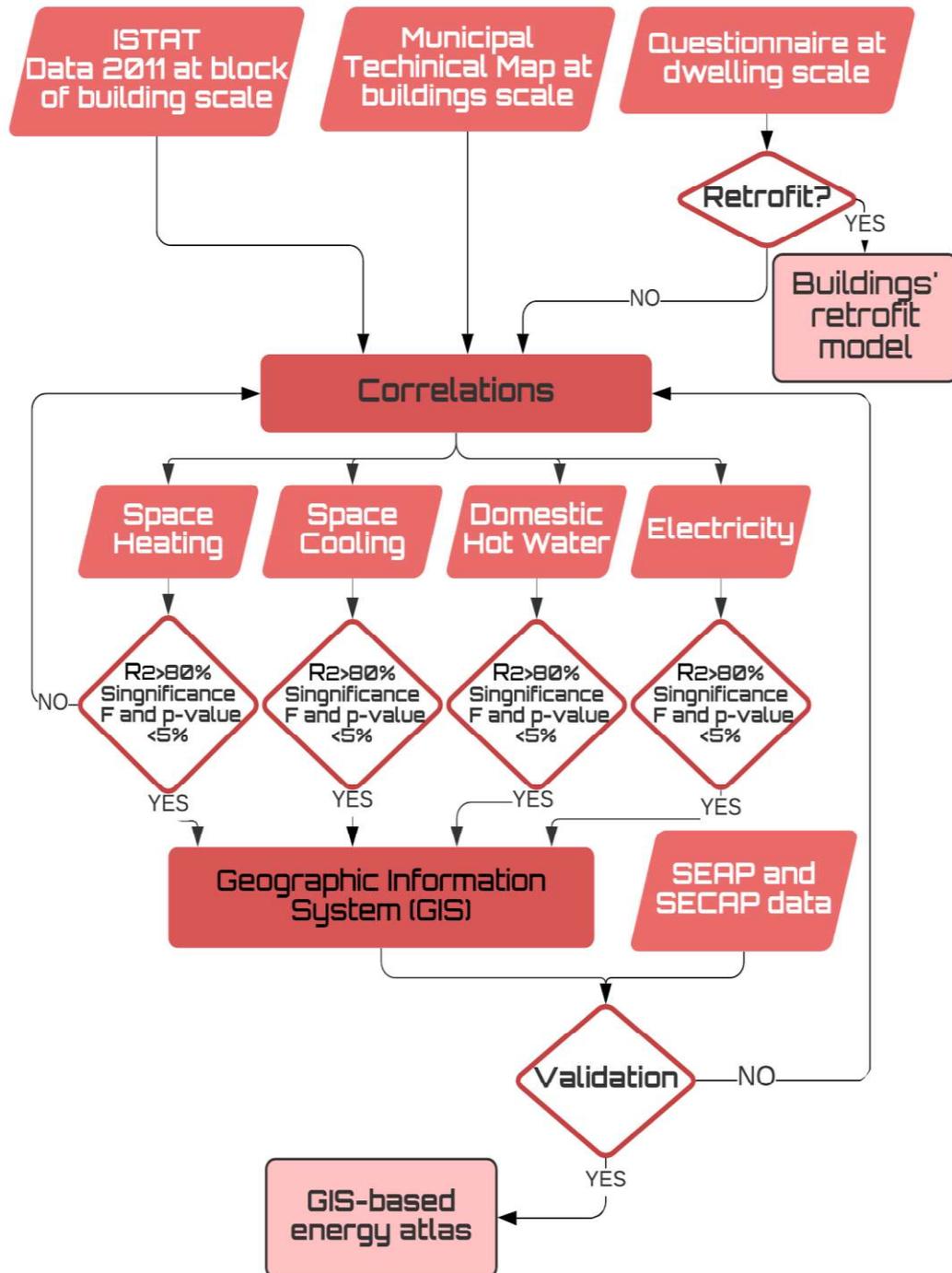


Fig. 35. Materiale e procedimento seguito per il modello matematico sviluppato al fine di calcolare il fabbisogno energetico del residenziale romano



4.2 Questionario ed analisi statistica del database

Una tra le problematiche fondamentali per il calcolo del fabbisogno energetico, è la raccolta dei dati sul quale basare l'analisi. Nasce dunque la necessità di dover creare un database di riferimento che, in questo caso, è stato costruito a partire da un questionario sviluppato dall'Università della Sapienza di Roma. La struttura del questionario, riportato nell'Appendice A, è stata realizzata su un foglio di calcolo *Excel*, implementando funzioni scritte in *Visual Basic for Application (VBA)* per poter simulare in tempo reale i consumi energetici partendo dai dati impostati come input. Infatti una volta che i dati sono stati raccolti, sono stati utilizzati gli strumenti per l'analisi regressiva multivariata, prendendo come variabili principali la superficie dell'appartamento e il numero di occupanti, così da stabilire l'affidabilità dello strumento di simulazione con il quale si va a stimare il fabbisogno energetico. Successivamente i risultati della regressione vengono comparati con quelli ricavati dallo strumento di simulazione. Come è possibile notare dai dati riportati nell'Appendice A, la struttura del questionario è stata ottimizzata per poter permettere anche ad utenti meno esperti una facile compilazione. Il questionario è basato sia su domande aperte che su domande chiuse che vanno ad investigare sulle peculiarità dell'edificio come ad esempio: la posizione geografica, l'orientamento, dispositivi di schermature, la tipologia impiantistica insieme alla presenza di eventuali fonti rinnovabili installate, eventuali interventi di riqualificazione dell'involucro edilizio, la presenza di specifici elettrodomestici, il numero di occupanti, etc. I consumi energetici ottenuti come output dalle simulazioni, vengono successivamente confrontati con quelli

effettivamente inseriti dall'utente e con i benchmark elaborati. Nel caso in cui si verifici un'anomalia tra i dati stimati e quelli effettivi, vengono visualizzati degli avvisi e le possibili soluzioni per la correzione dei dati [20] [21]. Il questionario è disponibile online da settembre 2018 ed è stato effettuato da utenti provenienti da tutta Italia. In particolare sono 703 i questionari svolti da utenti residenti nell'Urbe, dei quali di seguito vengono riportate alcune tra le caratteristiche energetiche più influenti. Come già fatto per i dati ISTAT presentati nei capitoli precedenti, una tra le prime variabili analizzate è quella dell'epoca di costruzione prevalente (Fig. 36). In corrispondenza a quanto già presentato nei capitoli precedenti, il periodo di costruzione prevalente, anche per dati raccolti, è quello che va tra il 1972 ed il 1981 con una percentuale pari a circa il 43% dei casi totali, mentre sono molto bassi i dati relativi ad edifici costruiti prima del 1919 e quelli costruiti dopo il 2005: le percentuali sono rispettivamente uguali a 2,56% e 3,84%. Restano dunque valide le tesi secondo cui il parco edilizio romano è stato costruito con poca attenzione agli aspetti di risparmio energetico.

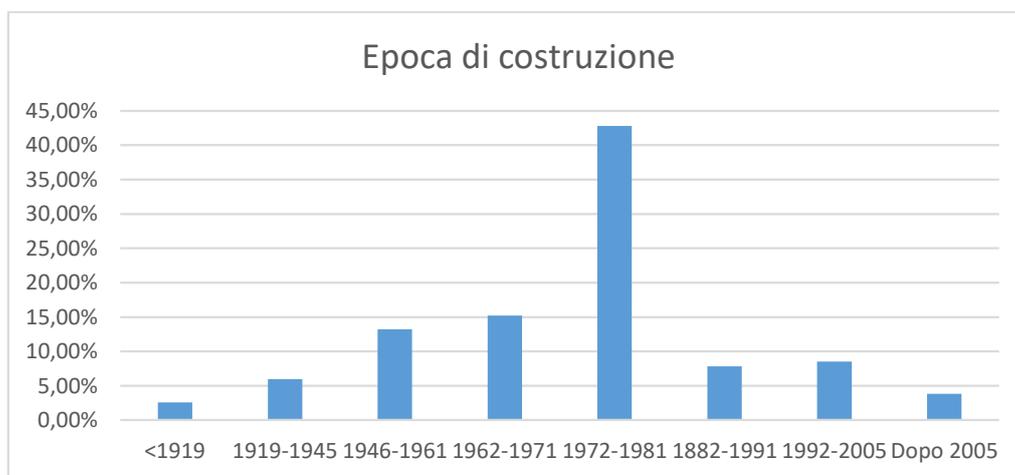


Fig. 36. Materiale e procedimento seguito per il modello matematico sviluppato al fine di calcolare il fabbisogno energetico della città di Roma

Un'altra importante analisi è quella svolta sul tipo di centrale termica, sul tipo di terminali e il sistema di termoregolazione delle abitazioni (Fig. 37-38-39).

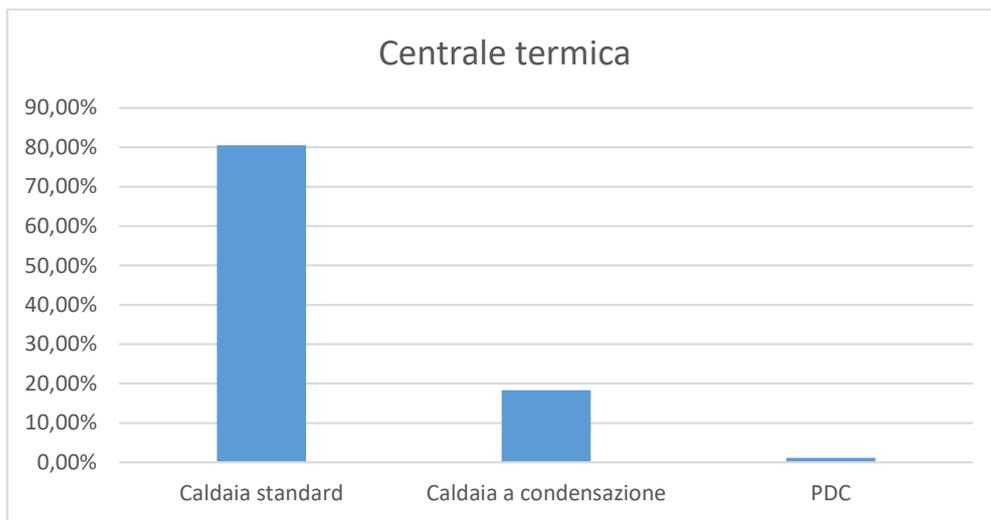


Fig. 37. Tipologia di climatizzazione invernale e relative percentuali di utilizzo

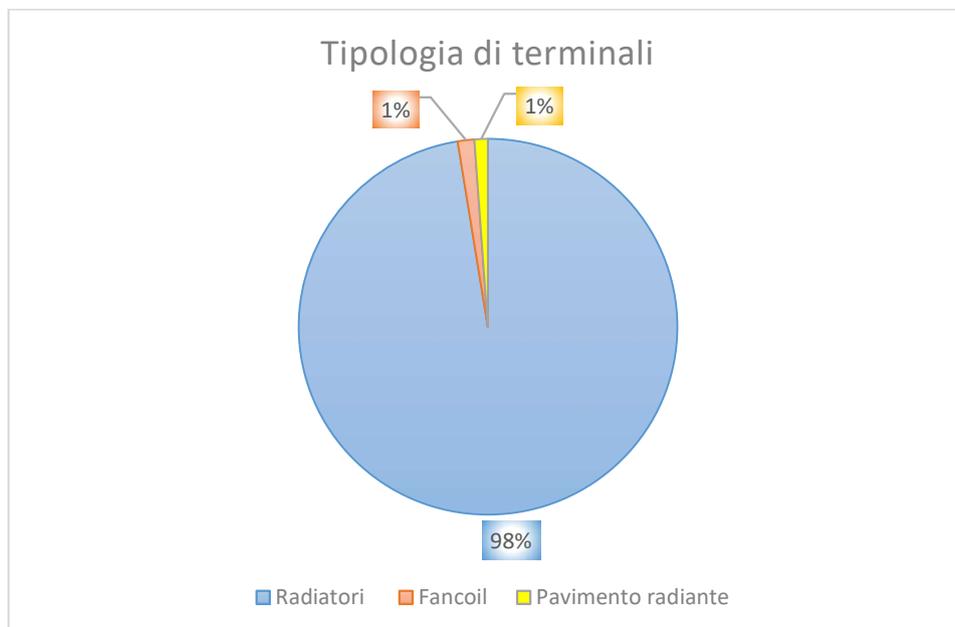


Fig. 38. Terminali e relative percentuali di utilizzo ricavate dalla compilazione del questionario

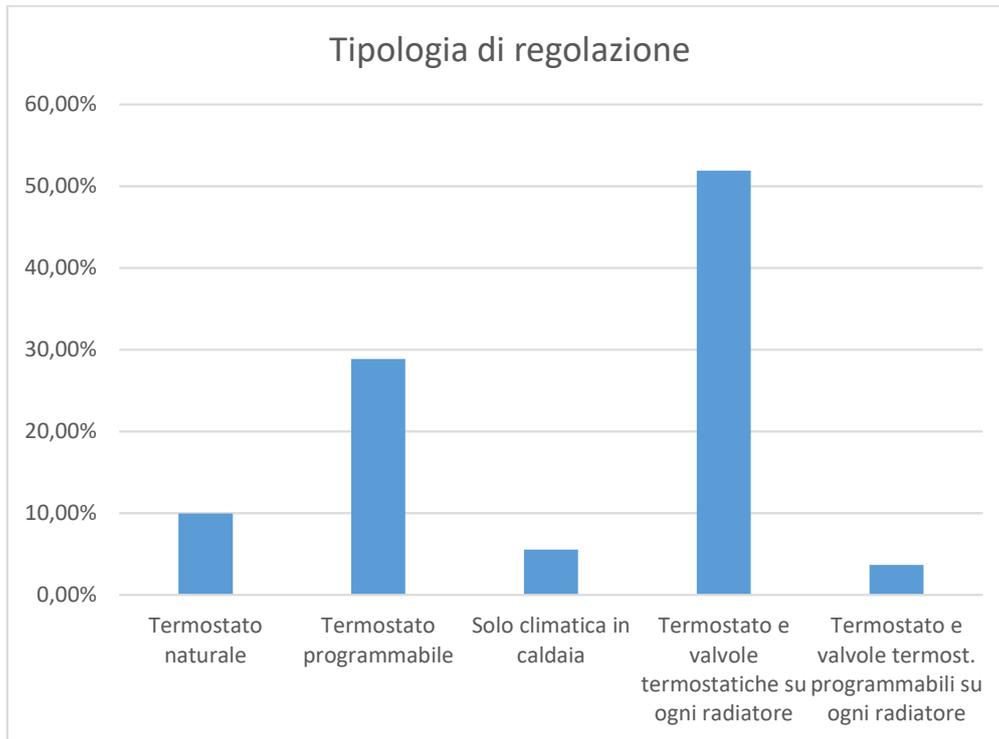


Fig. 39. Tipologia di regolazione prevalente

Come è possibile notare dai diagrammi presentati, sono pochi i casi in cui si ha un sistema di climatizzazione invernale efficiente, bensì le tecnologie utilizzate sono nella maggior parte dei casi, poco efficienti: nell'81% dei casi si utilizza come centrale termica una caldaia standard e solo il 18% dei casi utilizzano una caldaia a condensazione mentre è installato un sistema ad alta efficienza energetica quale la Pompa di calore solo in 8 casi, che rappresentano circa l'1%. Bisogna inoltre specificare che solo il 56,47% casi utilizza un sistema di climatizzazione invernale centralizzato. Per quanto riguarda i sistemi di erogazione, il 98% degli utenti utilizzano sistemi tradizionali ad alta temperatura anche se i sistemi di termoregolazione utilizzati ne migliorano il rendimento globale: dal questionario è emerso che oltre il 50% degli utenti ha installato le valvole termostatiche su ogni

radiatore mentre solo il 6% ha sistemi di regolazione poco efficienti. Per quanto riguarda il raffrescamento dai dati raccolti dal questionario emerge che 416 utenti hanno installato almeno un condizionatore mentre il restante 41% non ha un sistema di raffrescamento (Fig.40).

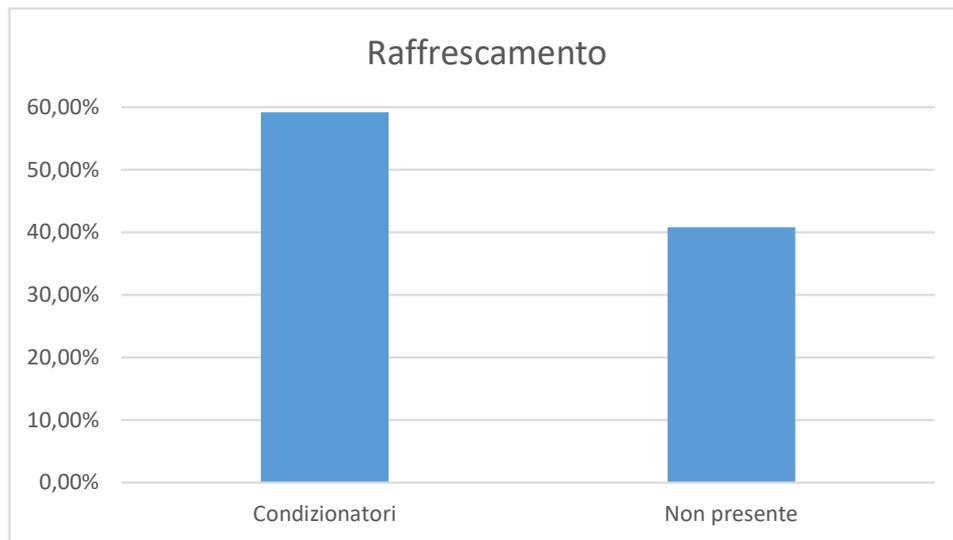


Fig. 40. Condizionamento estivo

Un'ulteriore specifica sul raffrescamento è quella della percentuale delle abitazioni raffrescate: in effetti non tutte le stanze delle abitazioni hanno un sistema di raffrescamento, ciò naturalmente, va ad incidere sui consumi di energia elettrica richiesti alla rete. È stato stimato dai dati forniti dal questionario, che, delle 416 abitazioni che presentano un sistema di raffrescamento, 369 hanno un sistema climatizzazione estiva che copre al di sotto del 56% dell'abitazione mentre solo il 4% raffresca una superficie maggiore dell'85% (Fig. 41)

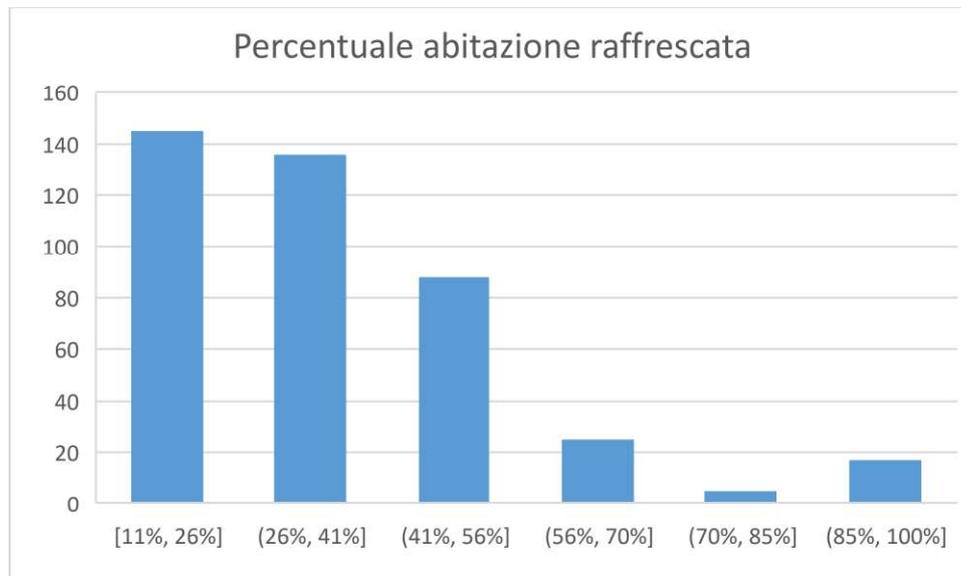


Fig. 41. Percentuale abitazione con climatizzazione estiva

Il questionario mette a disposizione anche un altro rilevante dato, quale gli interventi di riqualificazione (importante e non) che sono stati eseguiti nelle singole abitazioni. Tra gli interventi di riqualificazione energetica degli edifici ritroviamo:

1. Isolamento strutture opache verticali e percentuale e periodo d'intervento
2. Isolamento copertura e percentuale e periodo d'intervento
3. Isolamento strutture opache orizzontali e percentuale e periodo d'intervento
4. Sostituzione infissi e percentuale e periodo d'intervento

Di seguito viene riportata la Tab. 13 con le percentuali di casi in cui sono state eseguite le opere di riqualificazione degli edifici mentre nei diagrammi a torta delle Figure 42-46 sono riportate le percentuali di intervento. In totale gli edifici che sono stati oggetto di almeno uno tra gli interventi di riqualificazione sono 349 e rappresentano circa il 50% degli edifici. Naturalmente l'impatto sui consumi energetici delle singole opere varia a seconda dell'opera di riqualificazione

effettuata: infatti il risparmio di energia primaria che si ha con la sostituzione dei soli infissi è molto più bassa rispetto a quella che si avrebbe se si affiancasse a questa opera, l'isolamento delle strutture opache orizzontali.

Isolamento pareti	Isolamento copertura	Isolamento pavimento	Sostituzione infissi
9,25%	9,82%	4,55%	38,41%

Tab. 13. Percentuali di opere di riqualificazione del parco edilizio

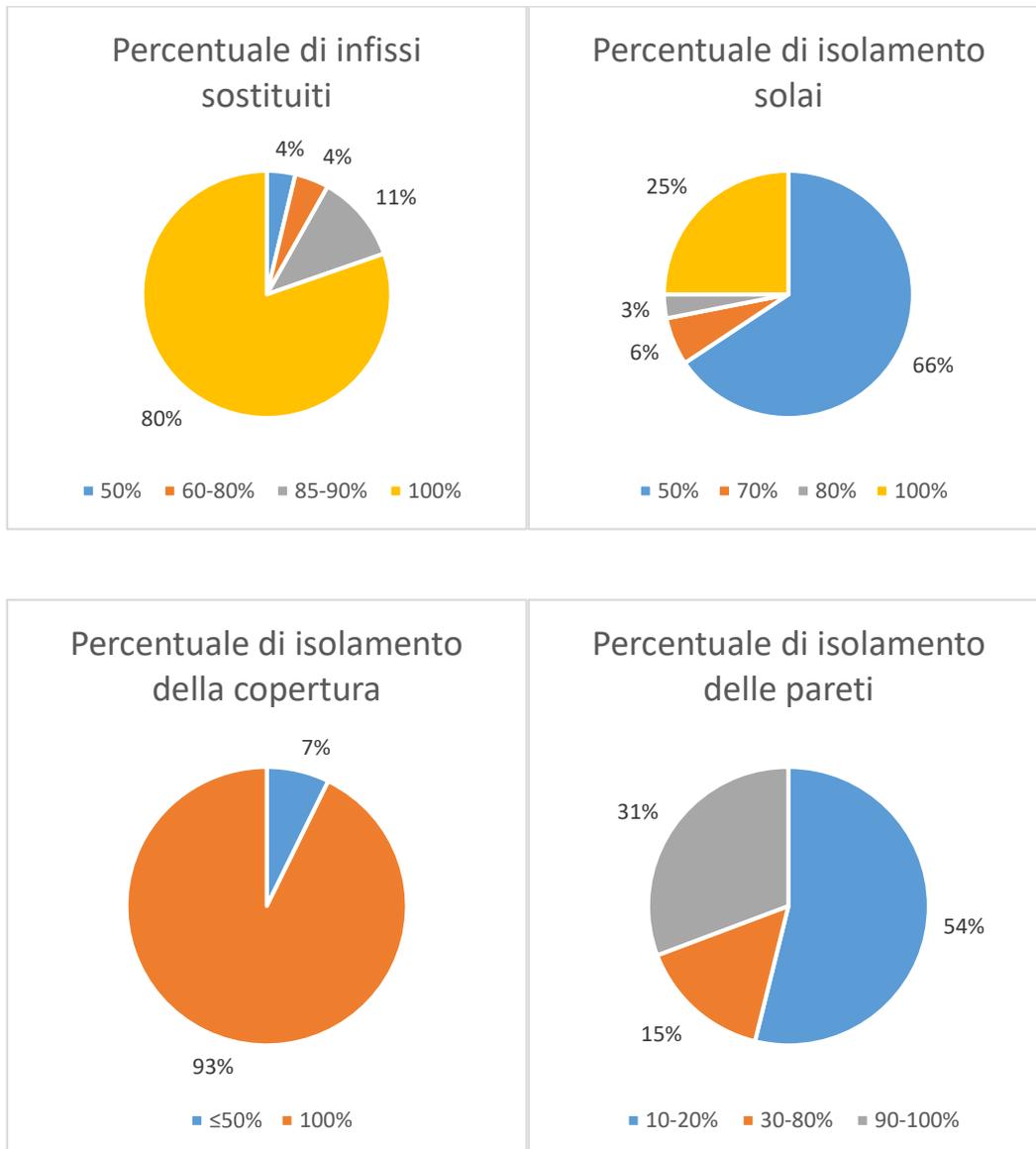


Fig. 42-46. Percentuali di intervento per la riqualificazione degli edifici



Come ultima analisi si vogliono riportare il numero di edifici che presentano l'installazione di fonti energetiche rinnovabili: Su 703 utenti solo 19 (il 3% circa) hanno un impianto di produzione da solare termico e 18 abitazioni usufruiscono di un impianto fotovoltaico che in percentuali rappresentano il 2,56% del totale.

4.3 Il modello energetico

La formulazione del modello matematico utilizzato per calcolare i consumi dovuti al riscaldamento, produzione di ACS, raffrescamento ed elettricità, è basato sui dati raccolti ed elaborati dal questionario introdotto nel sotto capitolo 4.2 grazie alla quale sono disponibili i dati stimati dell'energia primaria per riscaldamento, ACS e raffrescamento mentre per l'elettricità sono riportati i consumi mensili. Come primo passo sono stati scissi due sottoinsiemi: gli edifici riqualificati e quelli non riqualificati che rappresentano rispettivamente il 49,64% ed il 50,36% dei casi presentati dai questionari. Essendo molto alta la percentuale di edifici che hanno come unico intervento di riqualificazione energetica la sostituzione degli infissi che non incidono in modo particolare sul risparmio di energia primaria (se fatti come unico intervento), si è scelto di includere quest'ultimi negli edifici non riqualificati, passando così da 354 a 582 rappresentando circa l'83% dei questionari. I modelli matematici sono stati in ogni caso formulati sia per gli edifici riqualificati sia per quelli non riqualificati ma si è preferito dare maggiore affidabilità dei risultati a quelli non riqualificati poiché rappresentano la maggior parte degli edifici residenziali. Un'ulteriore analisi che è stata fatta prima di procedere alla formulazione dei modelli matematici, è la verifica di quali variabili hanno una



maggior corrispondenza con i dati ISTAT: è stata calcolata su GIS la popolazione considerando gli abitanti al m² e successivamente è stato considerato il volume lordo degli edifici. Una volta calcolati gli abitanti, i risultati ottenuti da GIS sono stati confrontati con i dati sulla popolazione riportati dal 15° censimento del 2011. Dai risultati ottenuti è emerso che questi presentano un errore maggiore del 10% se considerata come variabile la superficie ma convergono nel caso in cui venga fatta un'analisi basata sugli abitanti al metro cubo lordo. I risultati e l'errore associato al calcolo, sono riportati in Tabella 14. Da questa analisi è possibile ricavare che esiste una correlazione volumetrica con i dati ISTAT. Si svolgerà dunque un'analisi energetica considerando i consumi per unità di volume lordo piuttosto che un'analisi areale.

	Dati ISTAT 2011	Risultati analisi ab/m ³	Errore
I Municipio	102 709	101 540	-1%
II Municipio	107 454	107 293	0%
III Municipio	46 769	46 256	-1%
IV Municipio	191 707	186 028	-3%
V Municipio	167 822	166 063	-1%
VI Municipio	113 221	113 220	0%
VII Municipio	113 099	112 661	0%
VIII Municipio	226 338	205 930	-9%
IX Municipio	116 330	116 282	0%
X Municipio	174 086	166 755	-4%
XI Municipio	124 392	124 238	0%
XII Municipio	163 180	159 481	-1%
XIII Municipio	209 435	206 474	-1%
XV Municipio	140 457	137 610	-2%
XVI Municipio	130 426	129 784	0%
XVII Municipio	61 318	61 234	0%
XVIII Municipio	123 244	122 190	-1%
XIX Municipio	170 944	170 088	-1%
XX Municipio	134 244	132 660	-1%

Tab. 14. Confronto tra la popolazione ISTAT ed i risultati calcolati su GIS



4.3.1 Correlazioni ed analisi di regressione

Una volta classificati i casi studio in base alla loro riqualificazione energetica, si passa poi a definire quali siano le variabili che maggiormente influenzano i consumi di energia primaria. Per fare ciò viene utilizzata la funzione “CORRELAZIONE” di *Excel* che permette di calcolare un coefficiente indicativo della relazione tra due insiemi di valori. Tale coefficiente può assumere valori nell’intervallo $[-1; +1]$, valori dunque sia positivi che negativi: una correlazione positiva indica la diretta proporzionalità tra i due insieme di dati, mentre i valori negativi indicano un’inversa proporzionalità. Si ha una buona correlazione se il coefficiente è prossimo all’unità mentre, se tende a zero, non vi è correlazione alcuna. Di seguito verranno analizzati i modelli formulati per i singoli fabbisogni di energia primaria quali:

1. Riscaldamento per edifici non riqualificati
2. Riscaldamento edifici riqualificati
3. Produzione di Acqua Calda Sanitaria
4. Elettricità
5. Raffrescamento

4.3.2 Modello energetico per il riscaldamento in edifici non riqualificati

Come anticipato, sono stati considerati in questa analisi i consumi di energia primaria di 582 utenti. Come prima cosa l’energia primaria per il riscaldamento è stata divisa per il volume lordo, calcolato dividendo il volume netto per un fattore



pari a 0,75. In questo modo è stato calcolato l'indice di prestazione energetica EP_H .

I dati relativi a media, mediana e deviazione standard sono riportati in Tabella 15.

	kWh	kWh/m ³ anno
Minimo	35,92	0,25
Massimo	40379,30	46,98
Media	5873,78	15,23
Mediana	4859,20	14,01
Deviazione standard		8,42

Tab. 15. Analisi statistica dei dati del questionario

Successivamente è stata svolta l'analisi di correlazione tra i e le altre caratteristiche fornite dal risultato del questionario. I risultati attesi per le variabili che maggiormente influenzino l' EP_H sono:

1. Epoca di costruzione
2. Fattore di forma [m²/m³]
3. Tipo di generatore di calore
4. Tipo di regolazione
5. Classe energetica media per il riscaldamento

Dai risultati della correlazione le uniche variabili che realmente influenzano l' EP_H sono le prime due: il periodo di costruzione ed il fattore di forma S/V. Nella Tabella 16 vengono riportati i valori di correlazione ottenuti.



	Correlazione
Periodo di costruzione	-0,33
Fattore di forma	0,76
Tipo di generatore di calore	0,11
Tipo di regolazione	0,15
Classe energetica media riscaldamento	0,03

Tab. 16. Valori di correlazione con l' EP_H

Sono dunque state adottate come variabili per l'analisi di regressione multilineare il fattore di forma e l'epoca di costruzione. L'analisi di regressione multilineare permette di rappresentare le variabili dipendenti (l' EP_H) alle variabili indipendenti (fattore di forma, epoca di costruzione) seguendo la seguente formulazione matematica:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 * x_{i1} + \dots + \beta_p * x_{ip} + \varepsilon_i$$

dove β rappresenta un coefficiente stimato ed ε_i rappresenta l'errore relativo ad ogni osservazione [22]

Come già indicato nel flow chart (Fig. 35), a questo punto vengono analizzate altre tre importanti variabili quali:

1. *P-value*: rappresenta la probabilità di ottenere risultati che possano differire da quelli ottenuti dal campionamento ed aiuta a capire se la differenza tra i due dipende dalla casualità o meno. La correlazione viene accettata se il suo valore risulta essere inferiore al 5%



2. *Significatività F*: dà un'idea di quanto le variabili siano statisticamente significative. Il suo valore limite è uguale a quello del *p-value* ed è assunto pari al 5%.
3. R^2 : rappresenta la somma degli scostamenti quadrati dei dati misurati rispetto alla media. Il suo valore è esprimibile in percentuale ma varia tra $[0;1]$. Maggiore è il valore di R^2 , migliore è la dispersione dei dati. In questo caso viene assunto come valore limite 0,8, se dall'analisi di regressione si ottengono valori di R^2 minori, la correlazione viene scartata

Nella Tabella 17 vengono riportati i valori delle variabili sopra indicate ottenuti dall'analisi di regressione e nella Figura 47 viene riportato il confronto tra i dati calcolati mediante i coefficienti dell'analisi di regressione e quelli riportati dal questionario confrontati con la linea di tendenza.

	Risultati	Epoca di costruzione	Fattore di forma
Intercetta	4.84		
Coefficiente β		-12.21	36.15
p-value		9.99E-49	3.17E-136
F	690.88		
Significatività F	5.24E-148		

Tab. 17. Risultati analisi di regressione lineare multipla

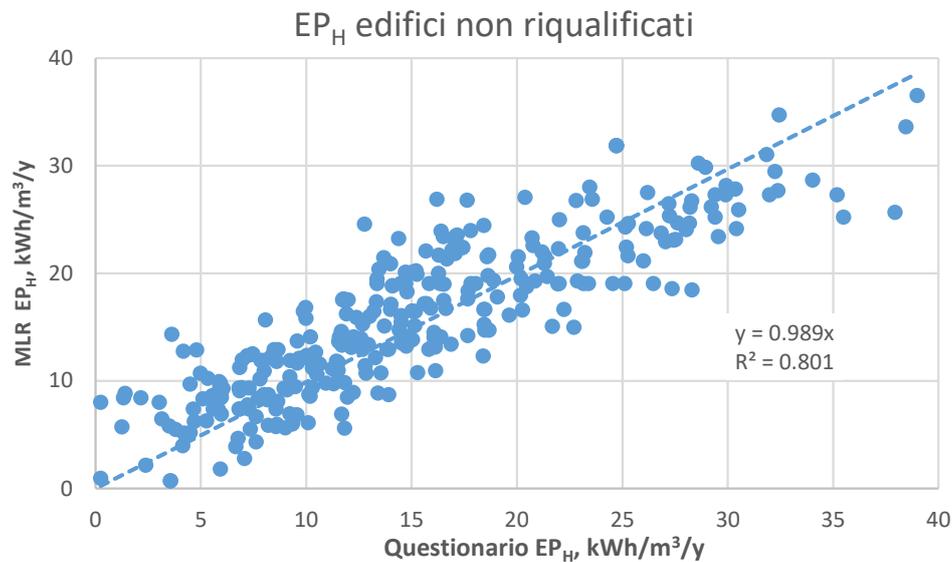


Fig. 47. Confronto tra i dati calcolati con l'analisi di regressione e quelli del questionario

Come è possibile notare dai dati riportati nella Tabella 16, il fattore di forma e l'epoca di costruzione possono essere accettate come variabili per il calcolo dei consumi energetici dovuti al riscaldamento di edifici non riqualificati. Si procede dunque con una suddivisione dei dati in base alle due variabili presentate: in questo modo si rende ancora più preciso il modello poiché per ogni epoca di costruzione e per ogni classe del fattore di forma, si va a calcolare il consumo energetico. In questo studio la scelta delle classi viene fatto in base a:

- Epoca di costruzione: le classi, in questo caso, vengono scelte in base alle leggi italiane sull'efficienza energetica ed in base al numero di casi che ricadono in una determinata classe
- Fattore di forma: le classi vengono scelte in base al numero di casi che ricadono nelle stesse (Fig. 48)

Seguendo queste indicazioni si ricavano le classi riportate nella Tabella 18.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Prima del 1945	<0,25	0,25-0,45	>0,45	
1945-71	<0,23	0,23-0,45	>0,45	
1972-81	<0,23	0,23-0,45	0,45-0,52	>0,52
1982-91	<0,25	0,25-0,52	>0,52	
91-2005	<0,25	0,25-0,40	>0,40	
Dopo il 2005	<0,30	0,30-0,52	>0,52	

Tab. 18. Suddivisione in classi dei dati del questionario

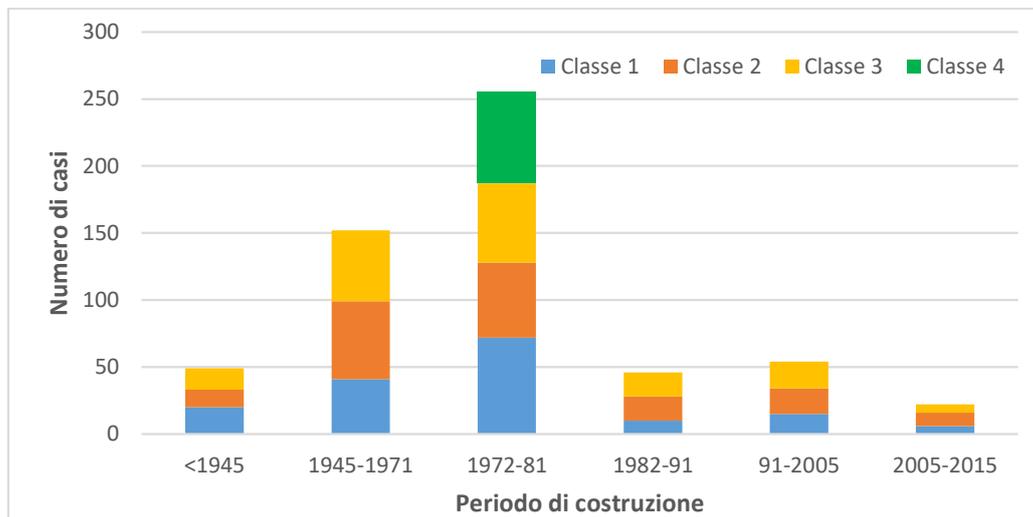


Fig. 48. Suddivisione in classi secondo il fattore di forma e l'epoca di costruzione

Una volta valutate le classi di suddivisione dei dati, si procede ad eliminare i dati di consumo anomali: per ogni classe di fattore di forma ed epoca di costruzione si va a analizzare la loro distribuzione secondo la Gaussiana e si eliminano i dati che hanno valori differenti dalla media ± 2 volte la deviazione standard, adottando dunque un livello di fiducia pari al 95,4%. La distribuzione Gaussiana è stata validata mediante il test del χ^2 e mediante il test KS. Nella Tabella 19 e nella Figura.

49 viene riportata l'analisi svolta per un fattore di forma [0,23;0.45) ed un'epoca di costruzione che va dal 1972 al 1981:

Minimo	11,01	
Massimo	95,89	
Media (μ)	51,66	
Deviazione standard (σ)	19,30	
Classi	8	
Gradi di libertà	5	
$\mu-(2*\sigma)$		$\mu+(2*\sigma)$
13,05		90,27

Tab. 19. Dati rappresentativi della Gaussiana

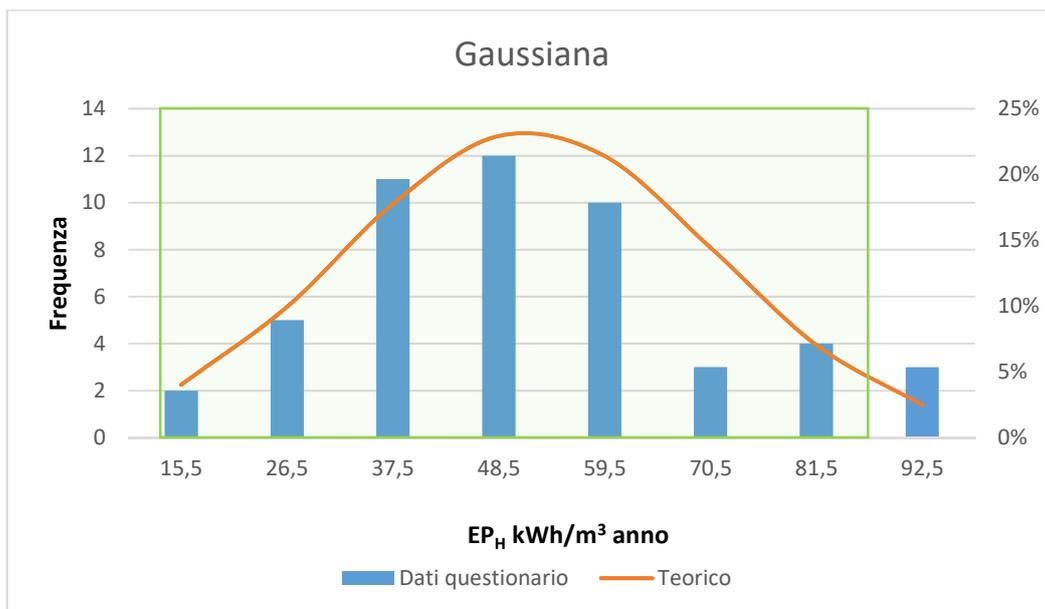


Fig. 49. Gaussiana costruita a partire dai dati del questionario

Da questa analisi il numero di questionari considerati per la formulazione del modello matematico, passa da 582 a 530, scartando dunque circa il 9% dei dati iniziali. Vengono così calcolati valori medi in kWh/ (m³*anno) per i periodi di costruzione considerati (Fig. 50):

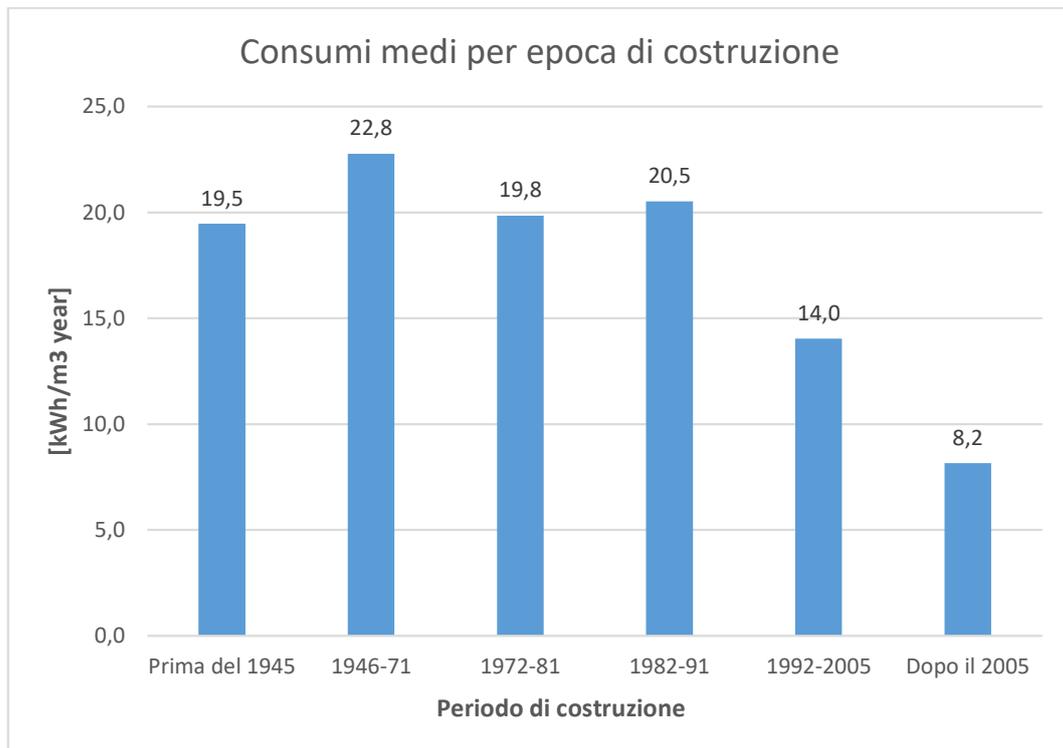


Fig. 50. Consumi medi per epoca di costruzione

Come è possibile notare dalla Figura 50, i consumi medi maggiori si hanno per i periodi di costruzione antecedenti al 1991, quando le normative e le tecniche di costruzione non erano fortemente incentrate sul risparmio energetico, mentre dal 1992 ad oggi i consumi medi si sono fortemente abbassati permettendo un risparmio di circa il 35%. Resta ora da definire il modello matematico per i consumi di energia primaria a seconda delle differenti epoche di costruzioni e classi di Fattore di Forma (Fig. 51). Le equazioni delle rette vengono specificate nella Tabella 20.

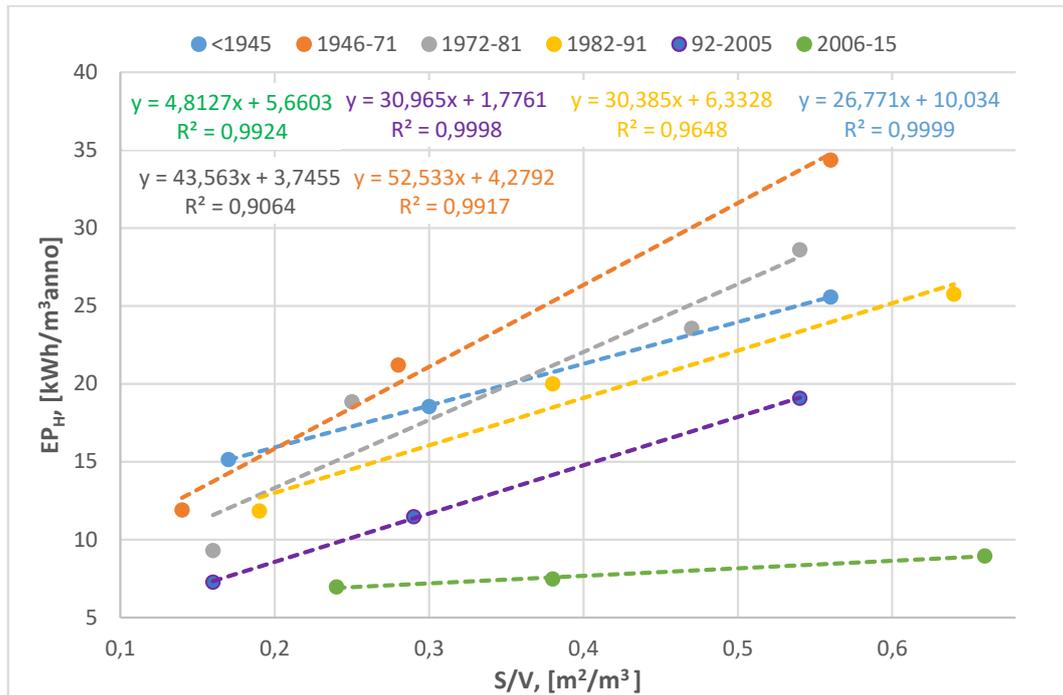


Fig. 51. Rappresentazione delle rette dei consumi con le relative equazioni ed il valore di R^2

Epoca di costruzione	Rette dei consumi specifici
Prima del 1945	$y=26,77*x+10,03$
1946-71	$y=52,53*x+4,28$
1972-81	$y=43,56*x+3,75$
1982-91	$y=30,36*x+6,33$
1992-2005	$y=30,97*x+1,78$
Dopo il 2005	$y=4,81*x+5,66$

Tab. 20. Rette dei consumi per le varie epoche di costruzione



Come è possibile notare, le rette rispecchiano quanto detto con la Figura 50, infatti i consumi specifici maggiori si hanno per le epoche di costruzioni precedenti al 1992 mentre, come era possibile prevedere, per i Fattori di Forma più bassi sono minori anche i fabbisogni energetici degli edifici.

4.3.3 Modello energetico per il riscaldamento in edifici riqualificati

In modo molto simile al sottocapitolo 4.3.2 sulla stima dei consumi energetici per gli edifici non riqualificati, sono stati analizzati i dati riportati dai questionari. In questo caso il numero dei dati iniziale era pari a 121. Nella Tabella 21 vengono riportati valori medi, la mediana, deviazione standard sia per l'energia primaria [kWh], sia per i consumi specifici [kWh/m³ anno]:

	[kWh]	[kWh/m ³ anno]
Minimo	46,45	0,18
Massimo	37244,12	30,13
Media	5326,63	11,17
Mediana	3852,16	10,26
Deviazione standard		7,06

Tab. 21. Analisi statistica degli edifici riqualificati

Successivamente sono state calcolate le correlazioni tra l'EP_H ed i dati forniti dal questionario. Anche in questo caso le variabili con la migliore correlazione sono il Fattore di Forma e l'epoca di costruzione (Tab. 22):

	Correlazione
Periodo di costruzione	-0,38
Fattore di forma	0,73

Tab. 22. Correlazioni della variabile dipendente con il fattore di forma e l'epoca di costruzione

L'analisi di regressione riporta i risultati riportati in Figura 52 ed in Tabella 23:

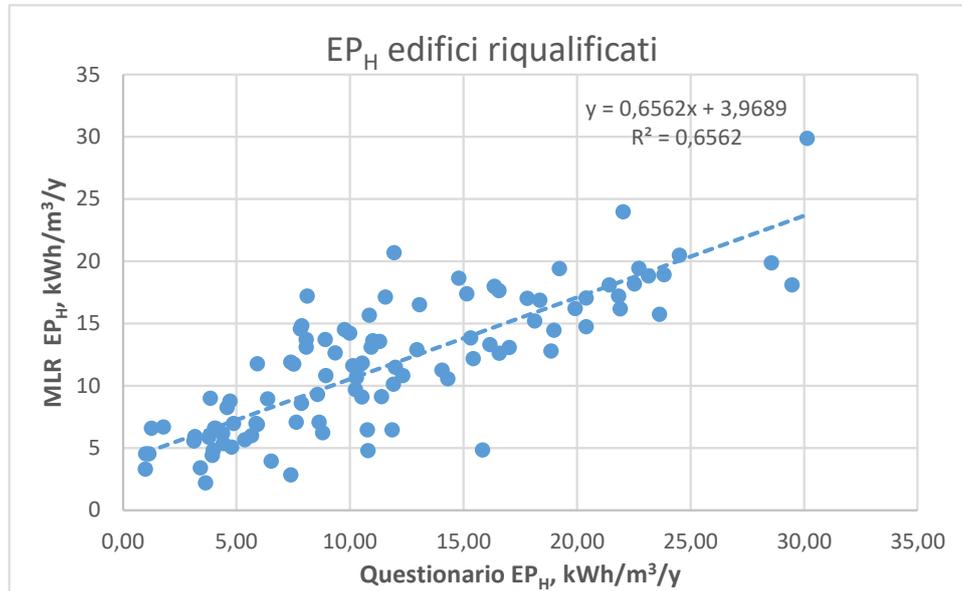


Fig. 52. Confronto tra i dati calcolati con l'analisi di regressione e quelli del questionario

	Risultati	Epoca di costruzione	Fattore di forma
Intercetta	3,48		
Coefficiente β		-11,32	25,55
p-value		2,39E-08	3,34E-23
F	96,37		
Significatività F	3,86E-24		

Tab. 23. Risultati analisi di regressione lineare multipla

Come è possibile notare, in questo caso il valore di R^2 non rispetta il limite imposto pari all'80%, ciò è dovuto soprattutto al fatto che i dati analizzati sono molti meno rispetto agli edifici non riqualificati. Essendo però i valori di *p-value* e di *significatività* accettabili ($< 5\%$) si è deciso comunque di procedere al calcolo del

modello energetico. Sono stati dunque suddivisi i dati in classi come fatto anche per gli edifici non riqualificati, come riportato in Figura 53 ed in Tabella 24:

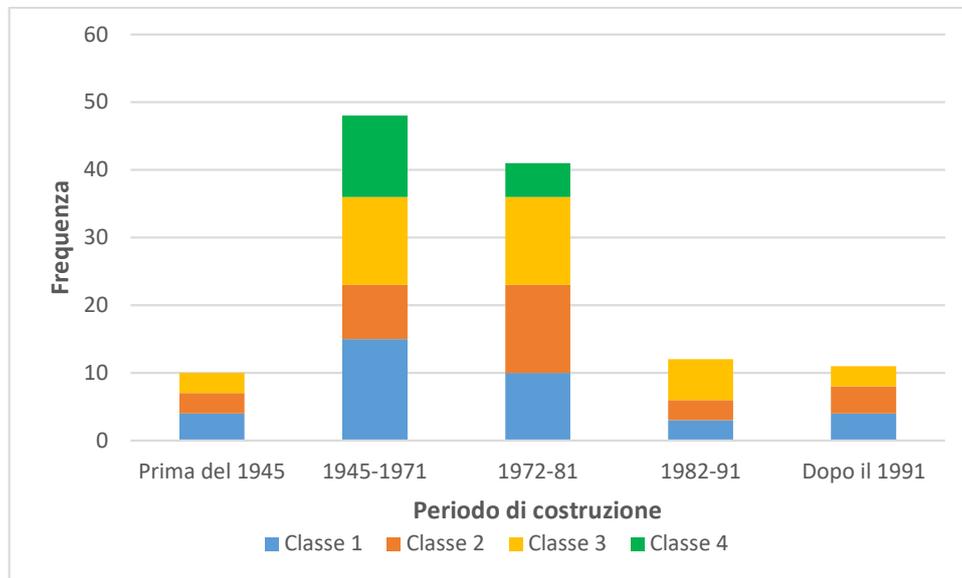


Fig. 53. Suddivisione in classi secondo il fattore di forma e l'epoca di costruzione

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Prima del 1945	0,25	0,25-0,45	>0,45	
1945-71	0,25	0,25-0,45	0,45-0,58	>0,58
1972-81	0,25	0,45-0,58	0,45-0,58	>0,58
1982-91	0,2	0,20-0,45	>0,45	
Dopo il 1991	0,25	0,25-0,45	>0,45	

Tab. 24. Suddivisione in classi dei dati del questionario

Si vuole specificare che in questo caso le classi di suddivisione per le diverse epoche di costruzione sono 5 e non 6, come per gli edifici non riqualificati, poiché le ultime due classi sono state accorpate: sono pochi infatti gli interventi di riqualificazione che vengono fatti sugli edifici di nuova costruzione. Successivamente si procede con il limitare i dati che non ricadono nel livello di fiducia pari al 95% limitando

ulteriormente i dati del questionario a 109 casi studio. Partendo da questi dati si ricavano poi le rette dei consumi energetici per il riscaldamento (Fig. 54, Tab. 25):

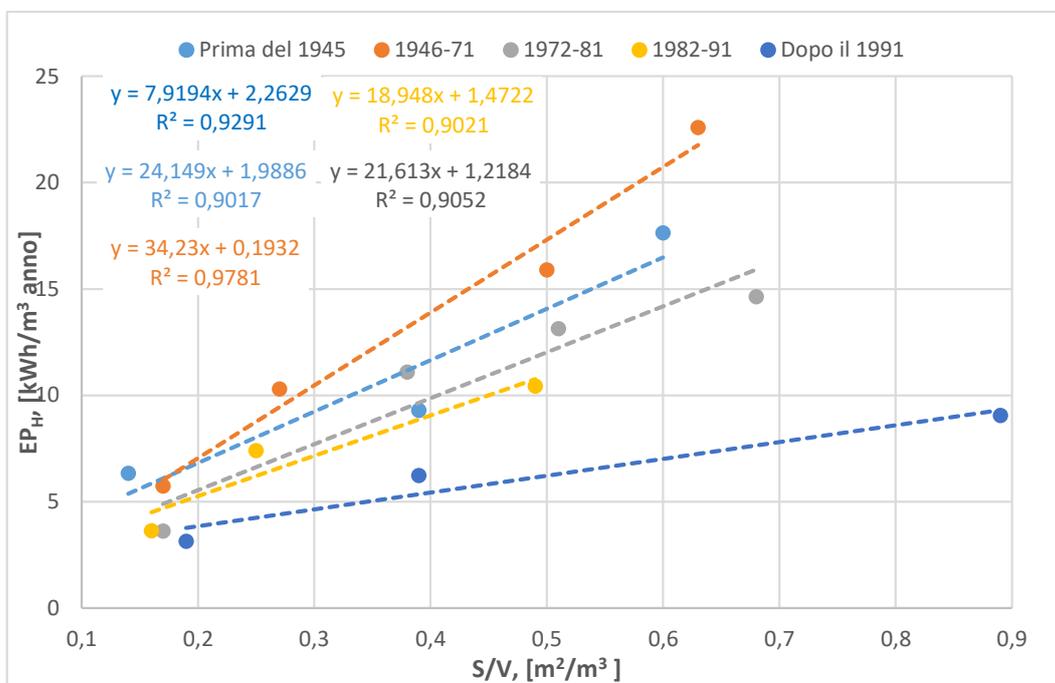


Fig. 54. Rappresentazione delle rette dei consumi con le relative equazioni ed il valore di R²

Epoca di costruzione	Rette dei consumi specifici
Prima del 1945	$y=24,15*x+2,26$
1946-71	$y=34,23*x+0,19$
1972-81	$y=21,61*x+1,22$
1982-91	$y=18,95*x+1,47$
Dopo il 1991	$y=7,92*x+2,26$

Tab. 25. Rette dei consumi per le varie epoche di costruzione



Anche in questo caso, con valori più bassi di S/V si ha una diminuzione del fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento così come per le epoche di costruzione più recenti, confermando quanto atteso.

4.3.4 Acqua Calda Sanitaria

Per quanto riguarda la stima del fabbisogno di energia primaria dovuta alla produzione di ACS bisogna fare delle preve precisazioni: dai risultati del questionario gli utenti utilizzano tutti lo scaldabagno elettrico mentre i dati utilizzati sono pari a 649, andando ad eliminare i dati che presentano un contatore di energia elettrica di tipo non residenziale. Si procede dunque con il calcolo delle correlazioni e in questo caso le variabili che ci si aspetta influenzino i consumi sono:

1. Numero di occupanti al metro cubo
2. Periodo di costruzione
3. Impianti solari termici
4. Consumi elettrici

Dai coefficienti calcolati utilizzando la funzione della correlazione, i dati che possono essere considerati per l'analisi sono gli occupanti al metro cubo lordo e i consumi elettrici (Tab. 26). Di questi però si preferisce utilizzare solo gli occupati al metro cubo dato che è la produzione di ACS ad incidere sui consumi elettrici e non viceversa. Per quanto riguarda la presenza di solare termico questo non ha un'alta correlazione poiché il numero di utenti che hanno un impianto solare termico sono solo 19.



	Correlazioni
Occupanti al metro cubo	0,93
Periodo di costruzione	-0,09
Solare termico	0,02
Consumi elettrici	0,69

Tab. 26. Correlazioni EP_{ACS} con i dati dei questionari

Dunque è stata condotta un'analisi di regressione lineare partendo dall'indice di prestazione energetica (kWh/m^3 anno) e dal numero di occupanti al metro cubo lordo. I risultati vengono riportati in Tabella 27 mentre nella Figura 55 viene riportato il confronto tra i dati stimati grazie all'utilizzo del questionario e quelli calcolati a partire dall'analisi di regressione lineare. Come è possibile notare in questo caso l' R^2 è maggiore dell'80% e i valori del p -value e della *significatività* sono largamente al di sotto dello 0,05.

	Risultati	Occ/m3
Intercetta	1,36	
Coefficiente β		940,62
p-value		2,33E-24
F	4368,72	
Significatività F	2,33E-287	

Tab. 27. Risultati analisi di regressione lineare

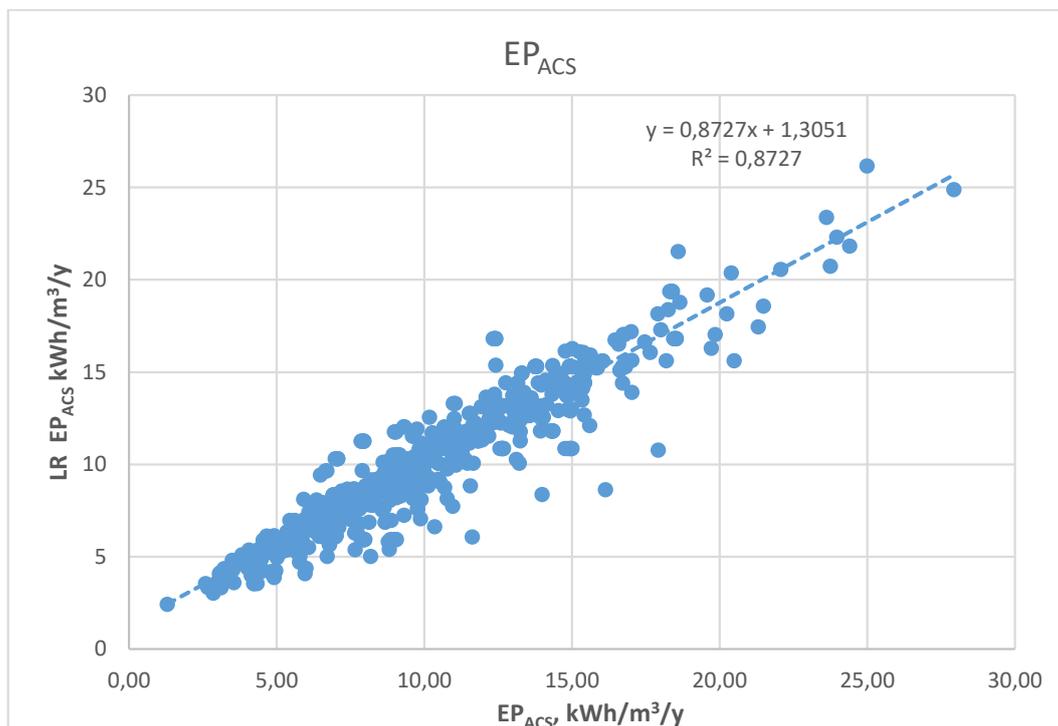


Fig. 55. Confronto tra i dati calcolati con l'analisi di regressione lineare e quelli del questionario

In questo caso si assume come retta dei consumi specifici quella ottenuta dall'analisi di regressione lineare:

	Equazione
Numero di occupanti al m ³	$y=1,36+940,62*x$

Tab. 28. Equazione per la stima dei consumi energetici specifici [kWh/m³ anno]

4.3.5 Elettricità

Per quanto riguarda l'elettricità, come output del questionario abbiamo i consumi stimati mensilmente: si è effettuata la somma dei dati mensili così da ottenere una proiezione annuale e successivamente si è moltiplicato il risultato per



il fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile (f_{nren}) che rappresenta il rapporto tra l'energia primaria non rinnovabile e l'energia fornita. Per l'elettricità questo fattore è pari a 1,95. Una volta calcolata l'energia primaria si procede come per i casi già analizzati: l'energia primaria viene divisa per il volume lordo, ottenendo così l'indice di prestazione dell'energia primaria per l'elettricità (EP_E). Viene poi fatta un'analisi sulle possibili correlazioni tra i dati del questionario e l' EP_E calcolato e in questo caso le maggiori correlazioni sono aspettate con le seguenti grandezze:

1. Acqua Calda Sanitaria
2. Numero di stanze climatizzate
3. Numero di occupanti al metro cubo
4. Impianto fotovoltaico
5. Classe energetica media per il raffrescamento
6. EP_C per il raffrescamento

Come è possibile notare dalla Tabella 29, le uniche variabili che presentano un elevato valore di correlazione sono la produzione di ACS, che è basata principalmente sull'utilizzo di scaldabagno elettrici, il numero di occupanti al metro cubo e l'energia primaria stimata per il raffrescamento. Anche in questo caso bisogna fare delle precisazioni:

1. Una tra le variabili che incide sul consumo di ACS è il numero di occupanti al metro cubo. Ciò significa che tenendo conto della prima si tiene intrinsecamente in contro della seconda, dunque ai fini della formulazione



del modello energetico, il numero di occupanti al metro cubo non viene considerata come variabile indipendente

2. Come riportato nella Figura 40, il numero di utenti che usufruiscono della climatizzazione estiva è pari a 416, eliminando poi coloro che hanno un tipo di utenze non residenziale il numero di casi scende a 369. In questo caso si limita fortemente il numero di casi.

	Correlazioni
Acqua Calda Sanitaria	0,63
Numero di stanze climatizzate	-0,18
Occupanti al metro cubo	0,62
Impianto fotovoltaico	-0,14
Classe energetica raffrescamento	-0,08
EPC raffrescamento	0,84

Tab. 29. Correlazioni EP_E

Si procede dunque con l'analisi di regressione. Si è scelto in questo caso di realizzare due diverse analisi:

1. Regressione lineare nel quale si analizzano tutti i 649 questionari utilizzando come variabile indipendente l' EP_{ACS}
2. Regressione lineare multipla andando a limitare il numero di casi studiati a 369 ma considerando sia l' EP_{ACS} che l' EP_C

Nelle Figure 56-57 e nelle Tabelle 30-31 sono riportati i risultati delle rispettive analisi:

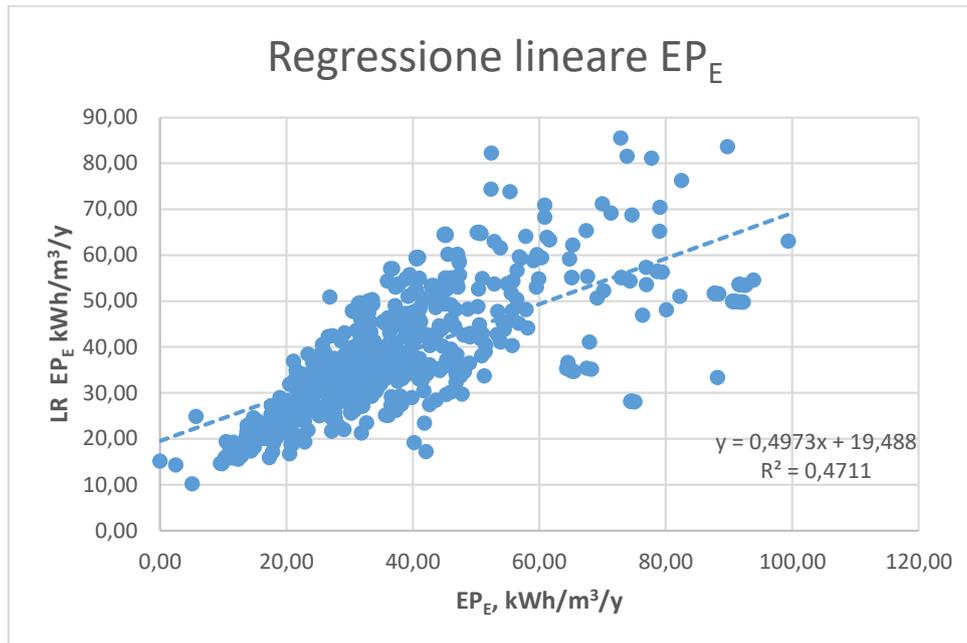


Fig. 56. Confronto tra i dati calcolati con l'analisi di regressione lineare e quelli del questionario

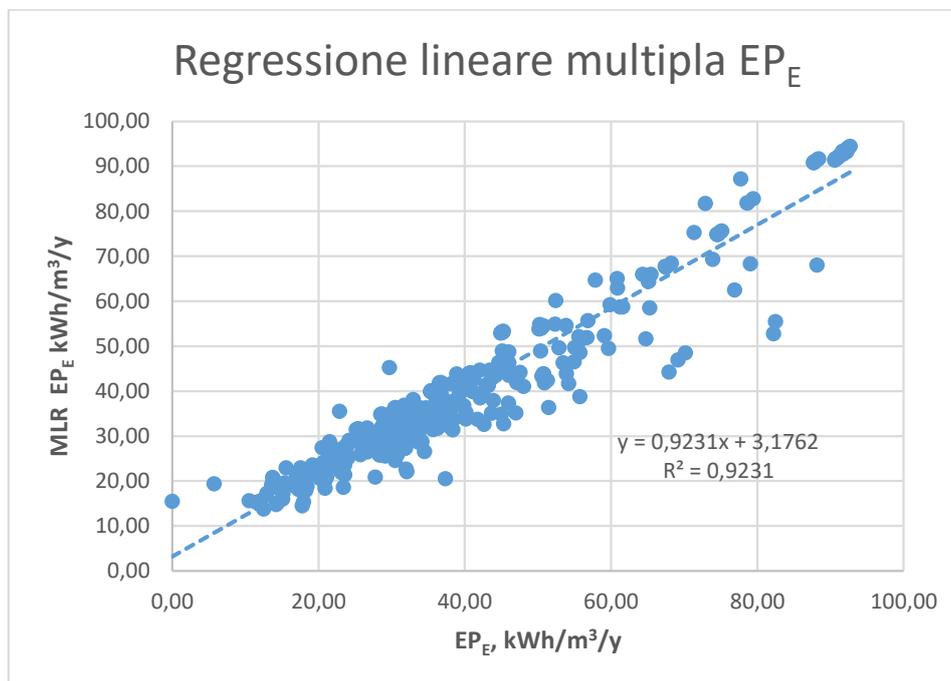


Fig. 57. Confronto tra i dati calcolati con l'analisi di regressione lineare multipla e quelli del questionario



	Risultati	EP _{ACS}
Intercetta	6,09	
Coefficiente β		3,18
p-value		9,16E-93
F	590,16	
Significatività F	9,16E-93	

Tab. 30. Risultati analisi di regressione lineare

	Risultati	EP _{ACS}	EP _E
Intercetta	6,07		
Coefficiente β		2,14	0,98
p-value		7,10E-104	4,90E-161
F	2137,07		
Significatività F	4,80E-199		

Tab. 31. Risultati analisi di regressione lineare multipla

Come è possibile notare dai risultati presentati, l'analisi della regressione lineare multipla risulta essere migliore nonostante il numero di casi analizzati risultano essere diminuiti di circa il 44%. Nelle Figure 58-59 vengono inoltre riportati i tracciati dei residui sia per l'Acqua Calda Sanitaria, sia per il Raffrescamento. Nella Tabella 32 viene invece riportato il modello matematico utilizzato per la stima dell'Indice di prestazione elettrico:

	Equazione
Variabili indipendenti	$y=6,08+2,14*x_1+0,98*x_2$

Tab. 32. Equazione per la stima dei consumi energetici specifici dove x_1 rappresenta EP_{ACS} e x_2 l'EP_C

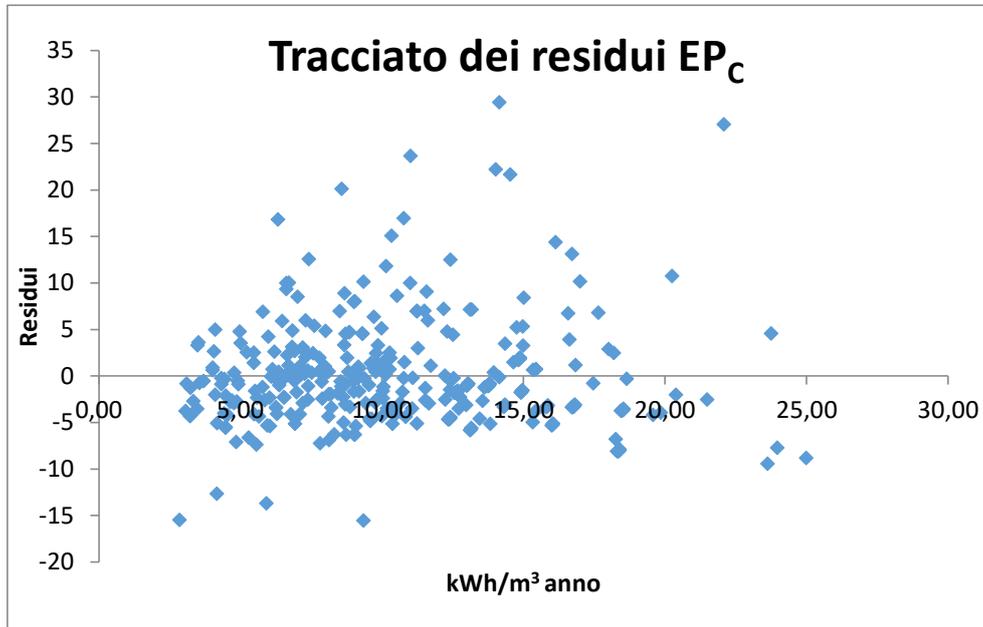


Fig. 58. Tracciato dei residui per l'EP_C

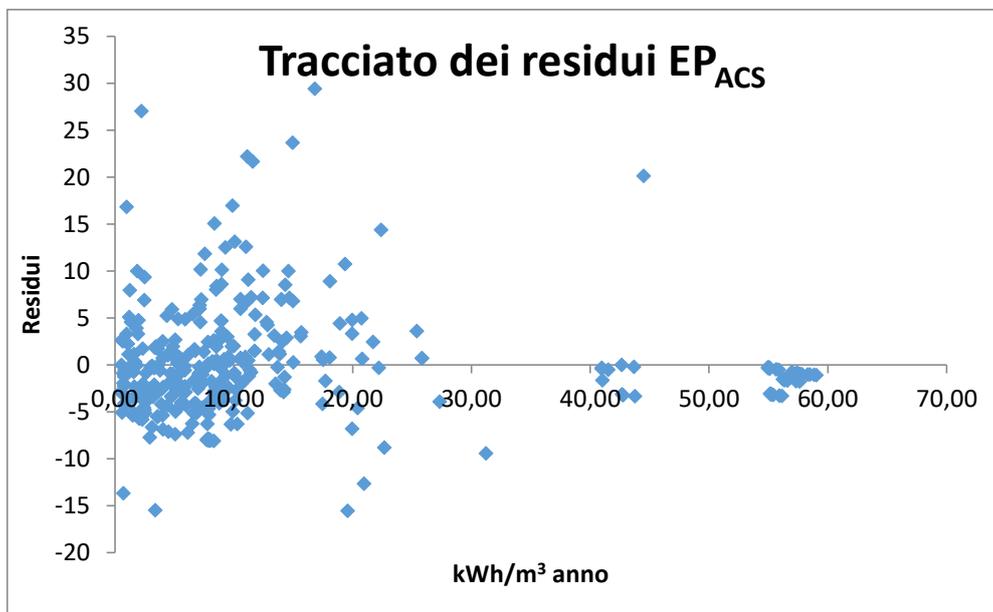


Fig. 59. Tracciato dei residui per l'EP_{ACS}



4.3.6 Raffrescamento

Come già ampiamente descritto, dai dati del questionario emerge che solo il 56% degli utenti utilizza un sistema di raffrescamento estivo. Dall'analisi sulle correlazioni emerge che non sono presenti importanti correlazioni tra l' EP_C ed i dati del questionario, nonostante siano varie quelle attese, tra cui:

1. Ore di esposizione al sole
2. Colore delle mura perimetrali
3. Percentuale dell'abitazione raffrescata
4. Classe energetica media per il raffrescamento

Non essendoci elevati valori tra i coefficienti di correlazione, si è analizzato il fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento seguendo una strada alternativa: è stato calcolato il rapporto tra i Gradi Giorno invernali e quelli estivi (Tab.33), presi dalla UNI 10349-3:2016, che risulta essere pari al 9%. Questa percentuale è stata assunta pari al rapporto l'energia utile fornita per il raffrescamento e quella fornita per il riscaldamento.

ROMA	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	Somma	Rapporto GG
GG _{INV} [°C]	372	309	266	73	0	0	0	0	0	46	224	353	1643	9%
GG _{EST} [°C]	0	0	0	0	7	14	56	61	5	0	0	0	143	

Tab. 33. Gradi Giorno invernali ed estivi secondo la UNI 10349-3:2016 ed il loro rapporto



È possibile calcolare l'energia fornita per il riscaldamento secondo le seguenti equazioni:

$$EP_H = \frac{Q_{fornita} * f_p}{m^2} \quad [1]$$

$$Q_{fornita} * f_p = \frac{Q_H}{\eta_{gl}} \quad [2]$$

dove:

- $Q_{fornita}$ rappresenta la quantità di energia in entrata che è determinata in corrispondenza del confine del sistema
- f_p rappresenta il fattore di conversione in energia primaria
- η_{gl} rappresenta il rendimento globale dell'impianto che viene stimato tenendo conto del rendimento di produzione (η_p), di distribuzione (η_d), di emissione (η_e) e di regolazione (η_c):

$$\eta_{gl} = \eta_p * \eta_d * \eta_e * \eta_c$$

In questo caso è stato stimato il rendimento globale dell'impianto seguendo i dati riportati in Tabella 34:

Emissione	0,93
Regolazione	0,88
Distribuzione	0,93
Produzione	0,90
Rendimento globale	0,69

Tab. 34. Rendimento globale



È dunque possibile calcolare l'energia fornita per il riscaldamento dalla quale, sapendo che il loro rapporto è pari al 9%, è possibile ricavare l'energia fornita per il raffrescamento (Q_C). Seguendo le stesse formule [1] [2], è possibile quindi calcolare l'indice di prestazione per il raffrescamento (EP_C) andando a stimare un valore medio di EER. Per fare ciò sono stati associati alla classe media di raffrescamento, riportata nei dati dei questionari, i valori riportati nella Tabella 35 [23].

	EER Nominale
A+++	5,00
A++	4,10
A+	3,60
A	3,10
B	2,60
C	2,40
D	2,10
E	1,80
F	1,60
G	1,40

Tab. 35. Energy Efficiency Ratio

In questo modo è stato calcolato un valore medio di EER risultato pari a 3,8 e grazie al quale è stata stimato il valore di EP_C dividendo il risultato non per i metri quadri ma per il volume lordo.

4.4 Confronto dei risultati dei modelli *bottom-up* e *top-down*

Una volta formulati, i modelli energetici si vanno ad implementare sulla Carta Tecnica Comunale (CTC) utilizzando il software *ArcMap* che rappresenta un



sistema informativo geografico. Prima di applicare i modelli, bisogna fare degli ulteriori passaggi, quale quello di selezionare solo gli edifici residenziali per poi unire i dati della CTC con quelli Istat, andando definire per le singole sezioni di censimento le caratteristiche fondamentali al calcolo dei modelli. Questo lavoro è stato svolto per tutte le 20 circoscrizioni così da poter confrontare i risultati ottenuti con quelli riportati nel PAES o nel PAESC di Roma Capitale. Nelle figure 60-62 viene riportato un particolare della CTC del I Municipio nei pressi di Piazza San Pietro: nelle prime due Figure vengono riportate le variabili indipendenti per il calcolo dell'indice di prestazione per il riscaldamento, mentre nella Figura 62 vengono riportati consumi specifici. Nelle Tabelle 37-40 sono riportati i risultati dei modelli energetici per le singole circoscrizioni, calcolati tenendo conto del tasso di occupazione medio di ogni Municipio, mentre nella Tabella 36 sono riportati i dati raccolti dal PAES e dal PAESC. Si specifica che nel caso del raffrescamento non sono stati pubblicati dati ufficiali a riguardo.

	PAES	PAESC	
Riscaldamento		15405	GWh
ACS	1500		GWh
Elettricità	8465		GWh
Raffrescamento			GWh

Tab. 36. Dati ufficiali pubblicati dal comune di Roma per i consumi energetici



Fig. 60. Particolare del I Municipio riportante l'epoca di costruzione per sezioni di censimento

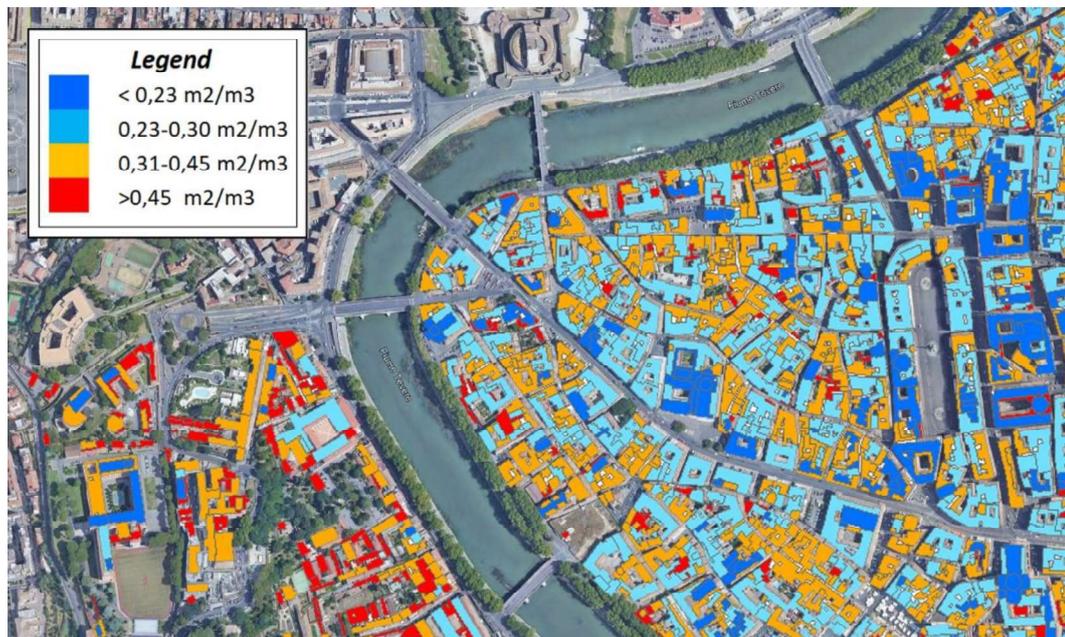


Fig. 61. Particolare del I Municipio riportante il Fattore di Forma

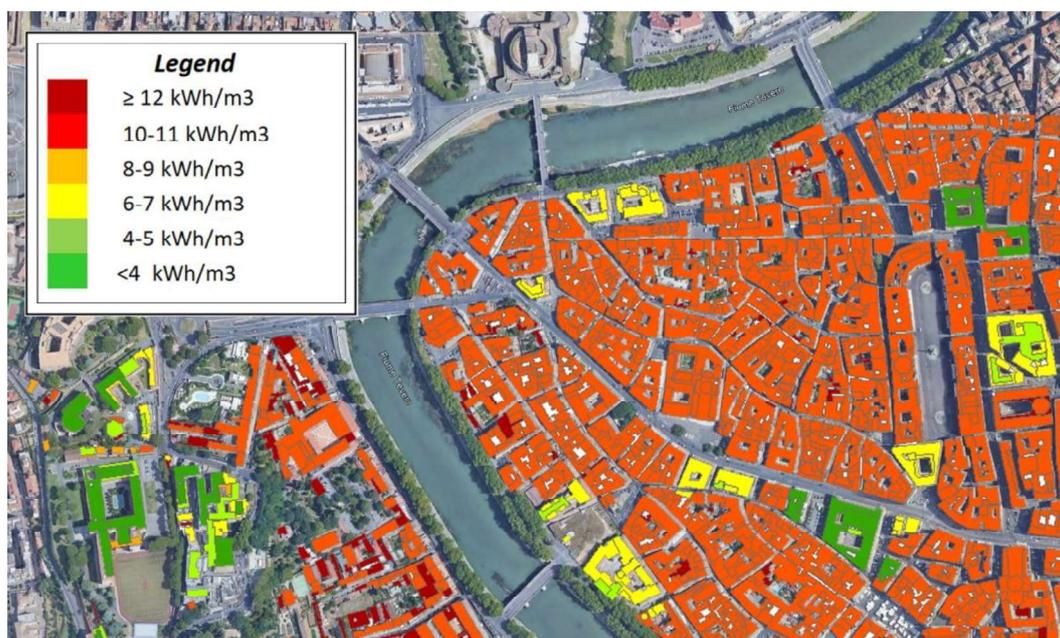


Fig. 61. Particolare del I Municipio riportante i consumi specifici per il riscaldamento

	GWh_{RIS}
I Municipio	921,02
II Municipio	1213,52
III Municipio	322,54
IV Municipio	821,47
V Municipio	744,75
VI Municipio	196,74
VII Municipio	1592,39
VIII Municipio	870,25
IX Municipio	625,93
X Municipio	795,12
XI Municipio	735,56
XII Municipio	908,32
XIII Municipio	909,19
XV Municipio	632,17
XVI Municipio	725,15
XVII Municipio	408,45
XVIII Municipio	724,62
XIX Municipio	949,47
XX Municipio	926,48

Tab. 37. Risultati Riscaldamento

	GWh_{ACS}
I Municipio	210,21
II Municipio	148,31
III Municipio	64,12
IV Municipio	220,55
V Municipio	199,87
VI Municipio	133,33
VII Municipio	216,00
VIII Municipio	218,00
IX Municipio	143,70
X Municipio	199,96
XI Municipio	160,64
XII Municipio	204,02
XIII Municipio	229,71
XV Municipio	163,15
XVI Municipio	156,05
XVII Municipio	86,51
XVIII Municipio	141,87
XIX Municipio	195,57
XX Municipio	159,88

Tab. 38. Risultati ACS



	GWh_E
I Municipio	473,90
II Municipio	347,16
III Municipio	149,58
IV Municipio	494,09
V Municipio	448,34
VI Municipio	295,23
VII Municipio	499,41
VIII Municipio	489,58
IX Municipio	325,80
X Municipio	449,51
XI Municipio	364,21
XII Municipio	460,41
XIII Municipio	515,40
XV Municipio	367,57
XVI Municipio	354,18
XVII Municipio	199,17
XVIII Municipio	323,82
XIX Municipio	443,13
XX Municipio	366,30

Tab. 39. Risultati Elettricità

	GWh_c
I Municipio	18,35
II Municipio	24,18
III Municipio	6,43
IV Municipio	16,37
V Municipio	14,84
VI Municipio	3,92
VII Municipio	31,73
VIII Municipio	17,34
IX Municipio	12,47
X Municipio	15,84
XI Municipio	14,66
XII Municipio	18,10
XIII Municipio	18,12
XV Municipio	12,60
XVI Municipio	14,45
XVII Municipio	8,14
XVIII Municipio	14,44
XIX Municipio	18,92
XX Municipio	18,46

Tab. 40. Risultati Raffrescamento

Si precisa che i consumi energetici del riscaldamento sono stati calcolati andando ad utilizzare sia il modello degli edifici non riqualificati sia quello degli edifici riqualificati, considerando una percentuale del volume lordo delle abitazioni come riqualificato ed il restante è stato considerato non riqualificato. Inoltre per quanto riguarda il raffrescamento è stato stimato che il 19% del volume lordo è raffrescato ed il fabbisogno energetico è stato calcolato considerando solo questa porzione di volume. Nella Tabella 41 vengono riportate gli errori calcolati rispetto alle somme dei consumi per l'intera città di Roma Capitale.



	PAES/PAESC [GWh]	Risultati [GWh]	Errore
Riscaldamento	15405	15023	3%
ACS	1500	3251	54%
Elettricità	8465	7367	15%
Raffrescamento		299	

Tab. 40. Risultati e relativo calcolo dell'errore rispetto ai dati ufficiali



Conclusioni

Dai risultati presentati nel capitolo precedente, è possibile trarre le seguenti conclusioni: il modello energetico presentato ha dato come risultato valori accettabili nel solo caso del riscaldamento, mentre per quanto riguarda l'elettricità e l'Acqua Calda Sanitaria i risultati divergono dai dati riportati nel PAES. Tali errori sono imputabili al fatto che la banca-dati consultata risulta essere molto scarna se confrontata al numero di appartamenti totali presenti su tutto il territorio romano: sono stati utilizzati infatti solo 703 casi studio confrontati al numero di interi di edifici residenziali stimati essere pari a 1 312 039 dai dati del censimento 2011.



Bibliografia

- [1] - “*Il Rapporto Brundtland*”
<https://www.isprambiente.gov.it/files/agenda21/1987-rapporto-brundtland.pdf>
- [2] – E. Comelli, “*Verso un mondo sostenibile, la grande emergenza climatica e le tecnologie per affrontarla, settore per settore*”, Lab24, Il Sole 24 ore, 23/11/2020 <https://lab24.ilsole24ore.com/sostenibilita-ambientale-2020/>
- [3] – “*Aumentano le emissioni di CO₂ per produrre energia*”, ANSA, 26 marzo 2019
https://www.ansa.it/canale_ambiente/notizie/inquinamento/2019/03/26/cli_maaumentano-emissioni-da-energiama-ue-in-controtendenza_e12f34e2-7c8e-4111-9dfe-bfae1c2814c2.html
- [4] – L. Longo, “*Un mondo di CO₂, un rapporto della IEA fa luce su quali sono i paesi che contribuiscono di più alle emissioni globali di anidride carbonica*”, eni.com, 4 novembre 2020, <https://www.eni.com/it-IT/low-carbon/mondo-co2.html>
- [5] - https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations_it
- [6] – “*Accordo di Parigi*”
https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_it
- [7] Ting Wei, Junliang Wu, Shaoqing Chen, “*Keeping Track of Greenhouse Gas Emission Reduction Progress and Targets in 167 Cities Worldwide*”
Front. Sustain. Cities, 12 July 2021
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsc.2021.696381/full>
- [8]
- [9] - “*Fuel mix, determinazione del mix energetico per gli anni 2018-2019*”
<https://www.gse.it/servizi-per-te/news/fuel-mix-determinazione-del-mix-energetico-per-gli-anni-2018-2019>
- [10] – “*Rapporto CIVICO 5.0, l’efficienza energetica in edilizia*”
<https://www.legambiente.it/rapporti-in-evidenza/rapporto-civico-5-0-lefficienza-energetica-in-edilizia/>
- [11] – “*Strategia per la riqualificazione energetica del parco immobiliare nazionale*” Ministero dello sviluppo economico, Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare; Ministero delle Infrastrutture e de Trasporti, Versione del 25/09/2020
https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/STREPIN_2020_rev_2_5-11-2020.pdf
- [12] – “*Norme per l’attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia*”, Legge 10/91;
https://st.ilsole24ore.com/art/SoleOnLine4/Speciali/2006/documenti_luned_i/12marzo2007/L_10_1991.pdf?cmd%3Dart
- [13] – “*DPR 412/93 INTEGRATO CON DPR 551/99*”
https://www.aepeapz.it/images/PDF/CaldaiaSicura/Leggi/DPR_412_93.pdf



- [14] – “*DECRETO LEGISLATIVO 19 agosto 2005, n. 192: "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia"* <http://www.publiccontrolli.it/192.pdf>
- [15] – “*Il Patto dei Sindaci per il Clima e l'Energia*” https://www.pattodeisindaci.eu/IMG/pdf/CoM_CommitmentDocument_it.pdf
- [16] – “*Basi Territoriali e Variabili Censuarie*” <https://www.istat.it/it/archivio/104317>
- [17] – G. Mutani, V. Todeschi, “*Space heating models at urban scale for buildings in the city of Turin (Italy)*”, *Energy Procedia*, 122 (2017) 841-846
- [18] – “*Censimento Popolazione Abitazioni – Edifici residenziali*”, ISTAT – Censimento 2011 http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DICA_EDIFICI_RES
- [19] – “*Carta Tecnica Comunale della città di Roma*”, <http://dati.lazio.it/catalog/it/dataset/carta-tecnica-regionale-2002-2003-5k-roma/resource/ee089059-bdec-499c-a91c-a3f2a71f32ce>
- [20] Francesco Mancini, Gianluigi Lo Basso, Livio de Santoli, “*Energy Use in Residential Buildings: Characterisation for Identifying Flexible Loads by Means of a Questionnaire Survey*”, *Energies* 2019, 12, 2055
- [21] Francesco Mancini, Gianluigi Lo Basso, “*How Climate Change Affects the Building Energy Consumptions Due to Cooling, Heating, and Electricity Demands of Italian Residential Sector*”, *Energies*, 2020, 13, 410
- [22] – G. Mutani, R. Fontana, A. Barreto, “*Statistical GIS-based analysis of energy consumption for residential buildings in Turin (IT)*”, 978-1-7281-4358-3/19/\$31.00 2019 IEEE IEEE CANDO EPE 2019 Conference, pp. 179-184, doi: 10.1109/CANDO-EPE47959.2019.9111035.
- [23] – “*L'etichetta energetica per i climatizzatori dell'aria*”, <https://www.energiaenergetica.enea.it/servizi-per/cittadini/interventi-di-efficienza-e-risparmio-energetico-nelle-abitazioni/etichetta-energetica/etichetta-energetica-apparecchi/l-etichetta-energetica-per-i-climatizzatori-dell-aria.html>



Appendice A

ENEA SMART-SIM PROCEDURA SEMPLIFICATA PER LA VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI AGGREGABILITÀ DI UTENZE RESIDENZIALI

Powered by ArchiEnergy
www.ingEnergia.it

Compili il questionario per conoscere la prestazione energetica della sua abitazione ed i possibili risparmi conseguibili grazie all'automazione domestica.
Le caselle da compilare sono quelle gialle.
Per maggiori informazioni sui dati da inserire clicchi sul triangolino rosso che compare in alto a destra sulle celle.
ATTENZIONE!!! Se in alto compare una di queste barre: ⚠ Avviso di sicurezza Le macro sono state disattivate. Abilita contenuto significa che le macro sono disattivate.
🛡 Avviso di protezione Le macro sono state disattivate. Opzioni... **Cliccare su "Abilita contenuto", oppure su "Opzioni.." e "Attiva Macro",** altrimenti il foglio non funzionerà.

Controllo errori Versione 3.0 del 31/12/2019

1. DATI GENERALI

1.1 ANAGRAFICA UTENTE

Nome	
Cognome	
Identificativo scheda	Data

1.2 UBICAZIONE EDIFICIO

Provincia	
Comune	
Indirizzo	
CAP	
Gradi-giorno	
Zona climatica	
Ombreggiamento dal sole	

1.3 UTILIZZO DELLA CASA

Inserisci il numero di occupanti che si trovano in casa nei giorni in cui è abitata:

	Mattina (8-13)	Pomeriggio (13-19)	Sera (19-0)	Notte (0-8)	
Numero di occupanti					per persone

2. CARATTERISTICHE ARCHITETTONICHE

2.1 DATI GENERALI

Periodo di costruzione	
Numero di piani dell'abitazione (non dell'intero edificio)	
Numero di piani dell'intero edificio	
Altezza media (in metri) di ogni piano	
Numero di stanze (compresi di disimpegno e corridoi)	
Numero di finestre	
Colore dei muri esterni	
Colore della copertura	

2.2 PIANTE E CONFINI

Scegli la tipologia di pianta più appropriata guardando la figura sotto:

Forma della pianta dell'abitazione

Posizione del nord (vedi disegno sotto)

Indica la lunghezza dei lati ed il relativo confine:

	LUNGHEZZA [metri] [m]	CONFINI
#RIFI		
#RIFI	3,00	Edificio vicino
#RIFI	3,00	Edificio
#RIFI		
#RIFI		

Confine superiore (cosa si trova sopra)

Confine inferiore (cosa si trova sotto)

2.3 RIEPILOGO DATI GEOMETRICI

Superficie calpestabile di un piano		m ²
Superficie calpestabile totale		m ²
Superficie lorda di un piano		m ²
Superficie lorda totale		m ²
Volume totale netto		m ³
Volume totale lordo		m ³

2.4 LAVORI EFFETTUATI SULL'INVOLUCRO EDILIZIO

Inserisci se sono stati effettuati interventi di miglioramento energetico dell'involucro edilizio.

	SI/NO	PERIODO	% DI REALIZZAZIONE
Isolamento delle pareti			
Isolamento del soffitto			
Isolamento del pavimento			
Sostituzione infissi			



3. IMPIANTI			
3.1 IMPIANTO DI RISCALDAMENTO			
Tipo di impianto di riscaldamento			
Tipo di generatore di calore			
Classe energetica media in riscaldamento			
Terminali in ambiente			
Modalità di regolazione			
3.2 IMPIANTO DI RAFFRESCAMENTO			
Tipo di impianto di raffrescamento			
Classe energetica media in raffrescamento			
Numero di stanze climatizzate	su un totale di stanze		
ALTRI APPARECCHI		QUANTITA'	ORE USO GIORNALIER
Ventilatore			
Deumidificatore portatile			
3.3 IMPIANTO DI PREPARAZIONE DELL'ACQUA CALDA SANITARIA			
Tipo di impianto di preparazione dell'acqua calda sanitaria			
3.4 IMPIANTO SOLARE TERMICO (per acqua calda)			
Tipo di impianto			
Numero di pannelli solari termici			
Inclinazione (tilt)			
Orientamento rispetto al sud (azimut)			
3.5 IMPIANTO SOLARE FOTOVOLTAICO (per energia elettrica)			
Potenza dell'impianto fotovoltaico		kWp	Potenza consigliata: kWp
Inclinazione (tilt)		°	Stima max potenza installabile: kWp
Orientamento rispetto al sud (azimut)		°	
Capacità della batteria di accumulo		kWh	



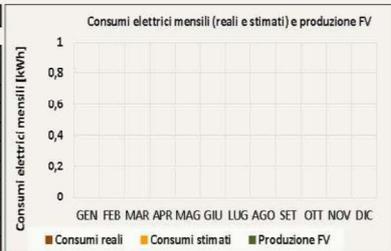
4. ELETTRODOMESTICI			
4.1 CUCINA			
	Elettrico a induzione	MINUTI USO GIORN.	
Piano cottura			
Forno a microonde			
Forno			
4.2 REFRIGERAZIONE			
TIPO DI FRIGORIFERO	VOLUME [litri]	CLASSE ENERGETICA	
Frigo-congelatore			
Nessuno			
Nessuno			
4.3 LAVAGGIO, PULIZIA E STIRATURA			
	CAPACITA' DI CARICO	CICLI SETTIMANALI	CLASSE ENERGETICA
Lavatrice [kg]			
Asciugatrice [kg]			
Lavastoviglie [coperti]			
Lavasciuga [kg]			
	MINUTI USO GIORN.		
Aspirapolvere			
Scopa elettrica			
Ferro da stiro senza caldaia			
Ferro da stiro con caldaia			
4.4 ILLUMINAZIONE			
Inserisci qui sotto tutte le lampadine che hai a casa, non inserire le lampade ad uso marginale (cappe, specchi, frigo, ecc.).			
TIPO LAMPADE	NUMERO DI LAMPADE		
Obsolete (lampade a incandescenza)			
Tradizionali (lampade alogene)			
A risparmio energetico (lampade fluorescenti)			
Ad alta efficienza (lampade, moduli o strisce LED)			
4.5 AUDIO/VIDEO			
4.5 COMPUTER/INTERNET			
#RIF1	#RIF1	QUANTITA'	ORE USO GIORNALIERE
Computer fisso			
Computer portatile			
4.6 CURA DELLA PERSONA			
	MINUTI USO GIORN.		
Asciugacapelli			
Piastra per capelli			
4.7 ALTRI APPARECCHI			
	QUANTITA'	POTENZA MEDIA [W]	MINUTI USO GIORN.
Apparecchio 1			
Apparecchio 2			
Apparecchio 3			
Controllo errori			

5. CONSUMI E COSTI ENERGETICI

5.1 ENERGIA ELETTRICA: CONSUMI E SPESA

Tipo di utente			
CONSUMI ELETTRICITA' (Inserire dati mensili da bolletta)			
	Reali (da bolletta) [kWh]	Stimati (dai calcoli) [kWh]	Differenza (reale-stimati)
Gennaio			
Febbraio			
Marzo			
Aprile			
Maggio			
Giugno			
Luglio			
Agosto			
Settembre			
Ottobre			
Novembre			
Dicembre			
TOTALE ANNUO	0	0	ND

SPESA ELETTRICITA' (Inserire valore annuale da bolletta)			
	Reale (da bolletta) [Euro]	Stimata (dai calcoli) [Euro]	Differenza (reale-stimata)
Gennaio			
Febbraio			
Marzo			
Aprile			
Maggio			
Giugno			
Luglio			
Agosto			
Settembre			
Ottobre			
Novembre			
Dicembre			
TOTALE ANNUO			



Consumi elettrici annuali (reali e stimati)											
Reali (da bolletta)	0										
Stimati (dai...)	0										
	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	Consumo annuo [kWh]										



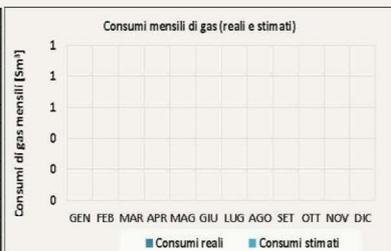
Spesa annua per consumi elettrici (reali e stimati)											
Reale (da bolletta)	0										
Stimata (dai...)	0										
	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	Spesa annua [€]										

Confronto tra i consumi elettrici reali (da bolletta) e stimati (sulla base dell'edificio simulato) per validare la simulazione effettuata.

5.2 GAS NATURALE: CONSUMI E SPESA

CONSUMI GAS (Inserire dati mensili da bolletta)			
	Reali (da bolletta) [Sm ³]	Stimati (dai calcoli) [Sm ³]	Differenza (reale-stimati)
Gennaio			
Febbraio			
Marzo			
Aprile			
Maggio			
Giugno			
Luglio			
Agosto			
Settembre			
Ottobre			
Novembre			
Dicembre			
TOTALE ANNUO			

SPESA (Inserire valore annuale da bolletta)			
	Reale (da bolletta) [Euro]	Stimata (dai calcoli) [Euro]	Differenza (reale-stimata)
Gennaio			
Febbraio			
Marzo			
Aprile			
Maggio			
Giugno			
Luglio			
Agosto			
Settembre			
Ottobre			
Novembre			
Dicembre			
TOTALE ANNUO			



Consumi annuali di gas (reali e stimati)											
Reali (da bolletta)	0										
Stimati (dai...)	0										
	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	Consumo annuo [kWh]										

Spesa annua per gas (reale e stimata)											
Reale (da bolletta)	0										
Stimata (dai...)	0										
	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	Spesa annua [€]										

Confronto tra i consumi di gas reali (da bolletta) e stimati (sulla base dell'edificio simulato) per validare la simulazione effettuata e a verificare le abitudini di consumo dell'utente.

6. RIEPILOGO CONCLUSIVO

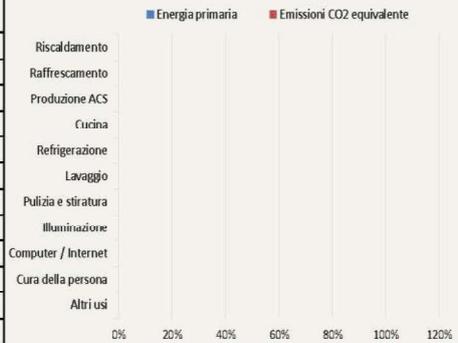
6.1 CONSUMI DI ENERGIA ELETTRICA E GAS, ENERGIA PRIMARIA ED EMISSIONI

In questa sezione sono riportate considerazioni sui consumi di energia elettrica e di gas sviluppate in automatico. Con riferimento ai consumi di energia elettrica, viene effettuato un confronto tra i consumi simulati e i consumi medi statistici di una famiglia della stessa provincia e della stessa composizione, al fine di individuare potenziali di risparmio energetico. Con riferimento ai consumi di gas, il risultato della simulazione è utilizzato per individuare un potenziale di risparmio energetico raggiungibile con interventi di riqualificazione energetica sull'involucro edilizio o sugli impianti, mentre il confronto tra i consumi simulati e i consumi dichiarati dall'utente è utilizzato per caratterizzare il comportamento dell'utente. A seguire, è riportato il calcolo su base annua dell'energia primaria e delle emissioni di anidride carbonica equivalente associate ai consumi energetici dell'abitazione: i risultati esposti si riferiscono ai consumi risultanti dalla simulazione e non ai consumi indicati dall'utente.

CONSUMI ELETTRICI [kWh]		0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Abitazione simulata (sulla base della simulazione effettuata)											
Abitazione di riferimento (benchmark di archivio)											

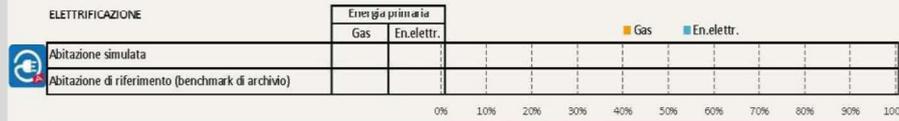
CONSUMI DI GAS [Sm ³]		0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Abitazione simulata (sulla base della simulazione effettuata)											
Abitazione di riferimento (benchmark di archivio)											

Energia primaria ed emissioni di anidride carbonica equivalente	En. Prim. [kWh/a]	En. Prim. [%]	Emiss. [kgCO ₂ /a]	Emiss. [%]
Riscaldamento				
Raffrescamento				
Produzione ACS				
Cucina				
Refrigerazione				
Lavaggio				
Pulizia e stiratura				
Illuminazione				
Computer / Internet				
Cura della persona				
Altri usi				
TOTALE				

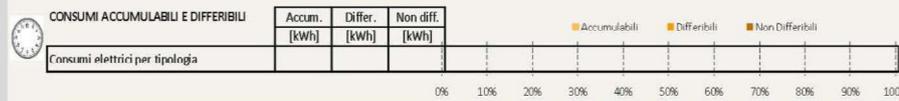


6.2 ELETRIFICAZIONE DELL'ABITAZIONE e CONSUMI DIFFERIBILI

In questa sezione sono valutati il livello di elettrificazione dell'abitazione (ovvero la percentuale di copertura degli usi energetici ottenuta grazie all'energia elettrica) e i consumi elettrici potenzialmente accumulabili o differibili (ovvero i consumi che possono essere spostati in altra ora della giornata). Tali indicazioni servono a misurare il potenziale di aggregabilità dell'abitazione, in una eventuale attività di Demand Response.



Considerazioni sull'elettrificazione dell'abitazione simulato: Il livello di elettrificazione è alto



Considerazioni sulla tipologia dei consumi elettrici

6.3 CONTRATTI DI FORNITURA DELL'ENERGIA ELETTRICA E DEL GAS

In questa sezione sono analizzati i contratti di fornitura dell'energia elettrica e del gas, confrontando i costi unitari calcolati sulla base dei dati forniti dall'utente e i costi unitari ottenibili scegliendo il miglior contratto sul mercato libero dell'energia.

COSTI MEDI DI ACQUISTO DELL'ENERGIA		Consigli sul contratto di fornitura elettrico:	
Costo medio energia elettrica [Euro/kWh]		inserire i dati di consumo e di spesa elettrica per ottenere indicazioni.	
Costo medio del gas [Euro/Sm ³]		inserire i dati di consumo e di spesa elettrica per ottenere indicazioni.	



6. RIEPILOGO CONCLUSIVO

6.2 POTENZIALE DI RISPARMIO DELL'ABITAZIONE

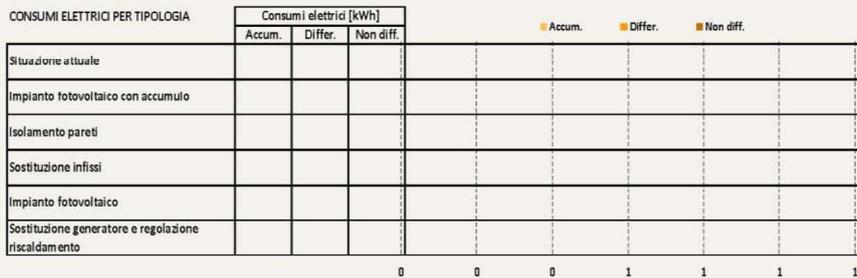
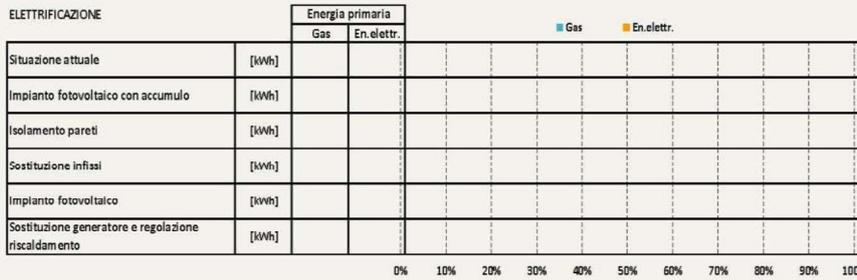
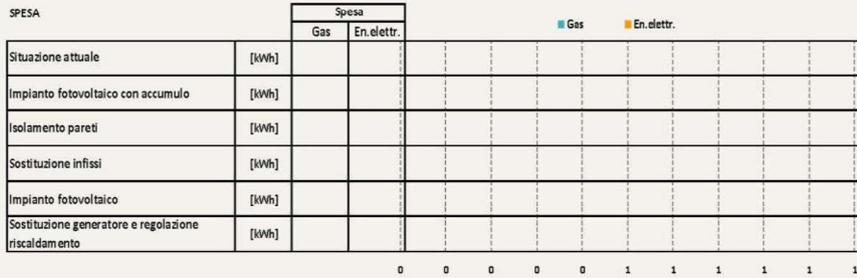
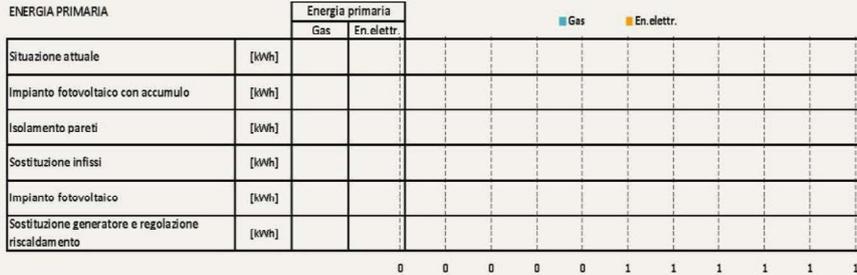
In questa sezione è valutato il potenziale di risparmio energetico dell'abitazione, a partire dalla situazione attuale. Sono valutati i possibili risparmi energetici ed economici derivanti da interventi di sostituzione degli elettrodomestici, di isolamento dell'involucro edilizio, di efficientamento dei sistemi impiantistici (riscaldamento, acqua calda sanitaria, raffrescamento), di introduzione di un impianto fotovoltaico.



Il calcolo deve essere avviato manualmente utilizzando il pulsante a destra.

ATTENZIONE: il calcolo impiega una decina di secondi, attendere senza cliccare alcun tasto.

Nota importante: i grafici seguenti riportano i 5 migliori interventi ordinati sulla base dei risparmi in termini di energia primaria





6.2 POTENZIALE DI ELETRIFICAZIONE DELL'ABITAZIONE

In questa sezione è valutato il potenziale di elettrificazione dell'abitazione, a partire dalla situazione attuale. Sono valutati i possibili risparmi energetici ed economici derivanti dall'elettrificazione delle utenze di cucina, di preparazione dell'acqua calda sanitaria e di riscaldamento.

Il calcolo deve essere avviato manualmente utilizzando il pulsante a destra.



ATTENZIONE: il calcolo impiega una decina di secondi, attendere senza cliccare alcun tasto.

ENERGIA PRIMARIA

	[kWh]	Energia primaria																	
		Gas	En.eletr.	Gas					En.eletr.										
Situazione attuale																			
Situazione attuale e cucina a induzione																			
Situazione attuale e scaldabagno a pompa di calore																			
Situazione attuale e riscaldamento con pompa di calore																			
Tutto elettrico																			

0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1

SPESA

	[Euro]	Spesa																	
		Gas	En.eletr.	Gas					En.eletr.										
Situazione attuale																			
Situazione attuale e cucina a induzione																			
Situazione attuale e scaldabagno a pompa di calore																			
Situazione attuale e riscaldamento con pompa di calore																			
Tutto elettrico																			

0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1

ELETRIFICAZIONE

	[kWh]	Energia primaria																	
		Gas	En.eletr.	Gas					En.eletr.										
Situazione attuale																			
Situazione attuale e cucina a induzione																			
Situazione attuale e scaldabagno a pompa di calore																			
Situazione attuale e riscaldamento con pompa di calore																			
Tutto elettrico																			

0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

CONSUMI ELETTRICI PER TIPOLOGIA

	Consumi elettrici [kWh]					
	Accum.	Differ.	Non diff.	Accum.	Differ.	Non diff.
Situazione attuale						
Situazione attuale e cucina a induzione						
Situazione attuale e scaldabagno a pompa di calore						
Situazione attuale e riscaldamento con pompa di calore						
Tutto elettrico						

0 0 0 1 1 1 1

Note tecniche:

I calcoli termici sono effettuati in regime dinamico e tengono conto del reale funzionamento dell'edificio, seppure con input semplificati.



Politecnico di Torino