Politecnico di Torino

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare
A.a. 2021/2022
Sessione di Laurea Dicembre 2021

Analisi dei benefici economici-ambientali di una Comunità di Energia Rinnovabile:

inquadramento normativo e simulazione quantitativa

Relatore:
Prof Marco Badami

Candidato:
Claudia Concaro

Indice

Lista delle figure *2*

Lista delle tabelle *9*

Lista delle equazioni *9*

Abstract *10*

Introduzione *11*

1. IL PANORAMA ENERGETICO MONDIALE *13*

1.1 Il mix energetico mondiale **13**

1.2 Il paradigma centralizzato di generazione dell'elettricità e le spinte per il suo cambiamento **19**

1.3 La transizione energetica **22**

1.4 Scenari energetici futuri **29**

2. LE COMUNITA' ENERGETICHE *35*

2.1 I benefici dell'introduzione delle comunità energetiche **35**

2.2 La cornice legislativa europea **38**

2.3 Quadro normativo-regolatorio italiano e regole tecniche GSE **40**

2.4 Esempi virtuosi in Italia e in Europa **44**

3. FOGLI DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE DEI BENEFICI ECONOMICI-AMBIENTALI DI UNA COMUNITÀ ENERGETICA *51*

3.1 Panoramica generale, obiettivi e risultati attesi **51**

3.2 "Analisi Energetica" **61**

3.4 "Autoconsumo virtuale" **97**

3.5 "Output" e "Flussi di cassa" **97**

4. CASI STUDIO REALIZZATI TRAMITE L'UTILIZZO DEI FOGLI DI CALCOLO PER L'ANALISI DEI BENEFICI ECONOMICI-AMBIENTALI DI UNA CER *111*

4.1 Caso studio uno **111**

4.2 Caso studio due **137**

Conclusioni *175*

Ringraziamenti *181*

Riferimenti bibliografici e sitografici *182*

Lista delle figure

Figura 1 – Consumo energetico mondiale in EJ fino a dicembre 2019 e a dicembre 2020 [3][4] 13
Figura 2 – Percentuale dello share di energia primaria nel 2019 e nel 2020 [3][4] 14
Figura 3 – Percentuale dello share energetico per fonte nelle diverse zone del mondo [4] 14
Figura 4 – Variazione annuale nella generazione di energia da fonti rinnovabili e share delle fonti rinnovabili e del carbone nella generazione globale [4] 15
Figura 5 – Nuova potenza installata annualmente per eolico e solare [4] 15
Figura 6 - Consumo di rinnovabili per regione in Exajoule e generazione rinnovabile in Terawattora [4] 16
Figura 7 – Produzione e consumo di petrolio in milioni di barili al giorno [4] 16
Figura 8 – Traffici di petrolio nel mondo in milioni di tonnellate [4] 17
Figura 9 – Produzione e consumo di gas naturale in miliardi di metri cubi [4] 17
Figura 10 – Produzione e consumo di carbone in exajoule [4] 18
Figura 11 – Percentuale della generazione di elettricità per fonte [4] 19
Figura 12 – Percentuale di generazione elettrica per combustibile e percentuale di generazione elettrica delle rinnovabili per regioni del mondo [4] 19
Figura 13 – La rete elettrica in un paradigma centralizzato [7] 20
Figura 14 - a) Schema della rete elettrica in un paradigma centralizzato b) paradigma distribuito [8] 20
Figura 15 – Lista delle emissioni e delle loro fonti, 2015 [17] 22
Figura 16 – Percentuale di emissioni di gas serra mondiali per settore [14] 23
Figura 17 Concentrazione della CO2 atmosferica misurata all'osservatorio di Manua Loa [15] e Anomalie di temperatura media globale sulla terraferma e in Italia, rispetto ai valori climatologici normali 1961-1990 [16] 23
Figura 18 – Tasso di mortalità per inquinamento atmosferico per Stato, 2012 [17] 24
Figura 19 – Morti attribuibili all'inquinamento atmosferico, 2012 [17] 25
Figura 20 – Consumo energetico procapite nei Paesi, 2012 [18] 25
Figura 21 – Riserve di carbone nel mondo, 2020 [19] 26
Figura 22 – Riserve di petrolio nel mondo, 2017[20] 26
Figura 23 – Riserve di gas naturale nel mondo, 2019[19] 27
Figura 24 – Dipendenza energetica europea, 2014 [21] 27
Figura 25 – Intensità energetica in termini di energia primaria sul PIL, 2017 [23] 28
Figura 26 – Indice di emissione in termini di kg di CO2 su PPP $ di PIL [24] 28
Figura 27 – Popolazione mondiale per regione e PIL mondiale nel NZE [26] 30
Figura 28 – Emissioni nette globali nel NZE [26] 30
Figura 29 – Emissioni globali nette per settore e totali e nette [26] 31
Figura 30 – Mix energetico nel NZE [26] 31
Figura 31 - "Analisi Energetica": Definizione dei consumi nella categoria carico domestico 52
Figura 32 - "Analisi Energetica": Categoria carico commerciale e industriale 53
Figura 33 – "Analisi Energetica": Esempio di curve orarie per il primo giorno dell'anno per il primo utente 53
Figura 34 - "Autoconsumo Virtuale": Tabella riassuntiva 54
Figura 35 -"Autoconsumo Virtuale": Esempio delle curve orarie per il calcolo degli incentivi 54
Figura 36 – "Autoconsumo virtuale": Esempio di curve orarie degli incentivi per i primi cinque utenti 55
Figura 37 - "Output": Riassunto della configurazione di alcuni utenti residenziali 56
Figura 38 - "Output": Indicatori energetici ed ambientali di alcuni utenti residenziali 57

Figura 39 - "Output": Indicatori economici di alcuni utenti residenziali 57
Figura 40 - "Output": Grafici energetici forniti 58
Figura 41 - "Output": Grafico ambientale fornito 59
Figura 42 - "Output": Grafici economici forniti 59
Figura 43 - "Output": grafici economici forniti 61
Figura 44 - "Flussi di Cassa": Tabella di flusso di cassa 60
Figura 45 - "Flusso di cassa": Andamento del VAN durante gli anni di analisi 61
Figura 46 – Aspetti che modificano il consumo energetico di un edificio residenziale [39] ... 63
Figura 47 – Consumo elettrico pro capite residenziale, 2019 [40] 63
Figura 48 – Variabili sociodemografiche considerate e la loro frequenza 65
Figura 49 – Variabili legate all'edificio e la loro frequenza 65
Figura 50– Variabili legate alle apparecchiature e la loro frequenza 65
Figura 51 – Energia utilizzata dai device di una donna over 65 [77] 67
Figura 52 – Energia utilizzata dai device di un uomo over 65 [78] 68
Figura 53 – Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per una donna over 65 anni [77] 68
Figura 54 – Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per un uomo over 65 anni [78] 69
Figura 55 - Curva di carico di una donna over 65 [77] 69
Figura 56 - Curva di carico di un uomo over 65 [78] 70
Figura 57 – Energia utilizzata dai device di una donna con bambino senza lavoro [79] 71
Figura 58 - Energia utilizzata dai device di una donna con bambino con lavoro [80] 71
Figura 59 - Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per donna con bambino disoccupata [79] 72
Figura 60 - Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per donna con bambino con lavoro [80] 72
Figura 61 - Curva di carico di una donna con bambino disoccupata [79] 73
Figura 62 - Curva di carico di una donna con bambino con lavoro [80] 73
Figura 63 - Energia utilizzata dai device di una famiglia con un bambino entrambi al lavoro [81] 74
Figura 64 - Energia utilizzata dai device di tre senior [81] 74
Figura 65 - Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per una famiglia con un bambino entrambi al lavoro [81] 75
Figura 66 - Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per tre adulti [82] 75
Figura 67 - Curva di carico di una famiglia con un bambino entrambi al lavoro [81] 76
Figura 68 - Curva di carico di tre adulti [82] 77
Figura 69 - Energia utilizzata dai device di uno studentato [83] 78
Figura 70 - Energia utilizzata dai device di una famiglia con due bambini con entrambi i genitori disoccupati [84] 78
Figura 71 - Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per uno studentato [83] 78
Figura 72 - Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per una famiglia con due bambini con entrambi i genitori disoccupati [84] 79
Figura 73 - Curva di carico di uno studentato [83] 79
Figura 74 - Curva di carico di una famiglia con due bambini, genitori disoccupati [84] 80
Figura 75 - Energia utilizzata dai device di una famiglia con due bambini e due anziani [85] 81
Figura 76 - Energia utilizzata dai device di una famiglia con tre bambini [86] 81
Figura 77 - Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per una famiglia con due bambini e due senior [85] 82

Figura 78 - Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per una famiglia con tre bambini [86] 82
Figura 79 - Curva di carico di una famiglia con due bambini e due senior [85] 83
Figura 80 - Curva di carico di una famiglia con tre bambini, genitori disoccupati [86] 83
Figura 81- Prestazione di una pompa di calore aria-acqua [87] 86
Figura 82 – Curva di carico di una pompa di calore per un edificio ristrutturato 87
Figura 83 – Zone climatiche estive italiane 87
Figura 84 – Distribuzione dei comuni italiani nelle classi climatiche estive 88
Figura 85– Andamento della curva di carico per uffici di Polysun 89
Figura 86 – Curva di carico dell'attività commerciale 1 90
Figura 87 - Curva di carico dell'attività commerciale 2 91
Figura 88 - Curva di carico dell'attività commerciale 3 91
Figura 89 – Curva di carico dell'attività commerciale 4 91
Figura 90 – Curva di carico dell'albergo aperto tutto l'anno con chiusura nel mese di novembre 92
Figura 91 - Profilo di occupazione dei posti letto negli alberghi tre e quattro stelle, media per regione [51] 93
Figura 92 – Andamento dei consumi elettrici per l'albergo stagionale 93
Figura 93 - Profilo di occupazione dei posti letto negli alberghi tre e quattro stelle, media per regione [51] 94
Figura 94 - Curve di carico normalizzate delle aziende in una settimana invernale 95
Figura 95 - Curve di carico normalizzate delle aziende in una settimana estiva 95
Figura 96 – Curve di carico normalizzate delle industrie per un anno 97
Figura 97 – Esempio di andamento temporale del VAN per un utente residenziale 98
Figura 98 – Fasce orarie per il prezzo dell'energia elettrica nel Ritiro Dedicato [63] 100
Figura 99 – Prezzi 2021 per la fascia F1 nel Ritiro Dedicato [65] 100
Figura 100 – Prezzi 2020 per la fascia F1 nel Ritiro Dedicato [64] 100
Figura 101 – Prezzi 2019 per la fascia F1 nel Ritiro Dedicato [63] 100
Figura 102 – Costo O&M per le diverse categorie di fotovoltaico [77] 107
Figura 103 - Caso studio 1: Rappresentazione della configurazione della CER 111
Figura 104 – Caso studio 1: Curva di carico della CER in un giorno feriale 113
Figura 105 – Caso studio 1: Curva di carico di un utente residenziale medio in un giorno feriale 113
Figura 106 – Caso studio 1: Curva di carico della CER di sabato 114
Figura 107 – Caso studio 1: Curva di carico di un utente residenziale medio di sabato 114
Figura 108 - Caso studio 1: Curva di carico della CER in un giorno festivo 114
Figura 109 - Caso studio 1: Curva di carico di un utente residenziale medio in un giorno feriale 115
Figura 110 – Caso studio 1: Panoramica della comunità per un impianto da 10 kW 115
Figura 111 - Caso studio 1: Curva di carico e di produzione in una settimana estiva con un impianto da 10 kW 115
Figura 112 - Caso studio 1: Curva di carico e di produzione in una settimana invernale con un impianto da 10 kW 116
Figura 113 – Caso studio 1: Curva di carico degli utenti residenziali in un giorno feriale 117
Figura 114 – Caso studio 1: Curva di carico degli utenti residenziali sabato 117
Figura 115 – Caso studio 1: Curva di carico degli utenti residenziali in un giorno festivo 118
Figura 116 – Caso studio 1: Andamento dell'energia autocondivisa virtuale e della mancata emissione all'aumentare della potenza dell'impianto 119
Figura 117 –Caso studio 1: Panoramica comunità per un impianto da 50 kW 119

Figura 118 – Caso studio 1: Curva di carico e di produzione della comunità per un impianto da 50 kW nella settimana estiva 120
Figura 119 – Caso studio 1: Curva di carico e di produzione della comunità per un impianto da 50 kW nella settimana invernale 120
Figura 120 – Caso studio 1: Panoramica comunità per un impianto da 100 kW 120
Figura 121 – Caso studio 1: Curva di carico e di produzione della comunità per un impianto da 100 kW nella settimana estiva 121
Figura 122 – Caso studio 1: Curva di carico e di produzione della comunità per un impianto da 50 kW nella settimana invernale 121
Figura 123 – Caso studio 1: Energia autocondivisa virtuale su energia prodotta al variare della potenza dell'impianto 122
Figura 124 – Caso studio 1: Andamento dell'incentivo della comunità al variare della potenza dell'impianto 122
Figura 125 – Caso studio 1: VAN al ventesimo anno degli utenti della CER 122
Figura 126 – Caso studio 1: Tempo di ritorno e indice di profittabilità al variare della potenza dell'impianto 123
Figura 127 – Caso studio 1: Investimento unitario al variare della potenza dell'impianto ... 123
Figura 128 – Caso studio 1: Configurazione della CER nella prova uno 124
Figura 129 – Caso studio 1: VAN al ventesimo anno e variazione percentuale al variare della potenza complessiva 126
Figura 130 - Caso studio 1: Investimento unitario al variare della potenza complessiva 126
Figura 131: Caso studio 1: Investimento iniziale al variare della potenza complessiva 126
Figura 132 - Caso studio 1: Tempo di ritorno al variare della potenza complessiva 127
Figura 133 – Caso studio 1: VAN/I al variare della potenza complessiva 127
Figura 134 – Caso studio 1: Configurazione della CER nella prova 2 128
Figura 135 – Caso studio 1: Ricavo annuale degli utenti residenziali al variare della potenza dell'impianto 129
Figura 136 – Caso studio 1: Andamento del VAN del produttore al variare della potenza dell'impianto 129
Figura 137 - Caso studio 1: Andamento del tempo di ritorno e di VAN/I al variare della potenza dell'impianto 130
Figura 138 – Caso studio 1: Energia prodotta su energia consumata dalla comunità al crescere del numero degli utenti residenziali che la compongono 130
Figura 139 – Caso studio 1: Energia autocondivisa virtuale al variare del numero degli utenti 131
Figura 140 – Caso studio 1: Energia autocondivisa virtuale su energia consumata al variare del numero degli utenti 131
Figura 141 – Caso studio 1: Energia autocondivisa virtuale su energia prodotta al variare del numero degli utenti 132
Figura 142 – Caso studio 1: Incentivo per la comunità al variare del numero degli utenti ... 133
Figura 143 – Caso studio 1: VAN al ventesimo anno al variare del numero degli utenti 133
Figura 144 – Caso studio 1: Risparmio annuo in bolletta per l'utente piccolo al variare del numero degli utenti 134
Figura 145 – Caso studio 1: Risparmio annuo in bolletta per l'utente medio al variare del numero degli utenti 134
Figura 146 – Caso studio 1: Risparmio annuo in bolletta per l'utente grande al variare del numero degli utenti 135
Figura 147 – Caso studio 1: Caso studio 1: Incentivi per utente al variare del numero degli utenti 135

Figura 148 – Caso studio 1: Caso studio 1: Incentivi per utente al variare del numero degli utenti 135
Figura 149 – Caso studio 1: VAN/I al variare del numero degli utenti 136
Figura 150 – Caso studio 1: Tempo di ritorno al variare del numero degli utenti 136
Figura 151 – Caso studio 2: Funzionamento dello schema di scambio sul posto [97] 137
Figura 152 – Caso studio 2: Curva di carico dell'albergo in un giorno invernale ed estivo .. 141
Figura 153 – Caso studio 2: Curva di carico di un albergo da 4 stelle e 112 stanze in un giorno invernale ed estivo, ENEA [51] 141
Figura 154 – Caso studio 2: Autoconsumo vs immissione nel caso di un impianto fotovoltaico di 10 kW 142
Figura 155 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione dell'albergo con un impianto fotovoltaico da 10 kW in una settimana invernale 142
Figura 156 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione dell'albergo con un impianto fotovoltaico da 10 kW in una settimana estiva 142
Figura 157 – Caso studio 2: Panoramica CER2 nel caso dell'impianto fotovoltaico dell'albergo di 10 kW 143
Figura 158 – Caso studio 2: Autoconsumo vs immissione nel caso di un impianto fotovoltaico di 50 kW 144
Figura 159 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione dell'albergo con un impianto fotovoltaico da 50 kW in una settimana invernale 144
Figura 160 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione dell'albergo con un impianto fotovoltaico da 50 kW in una settimana estiva 145
Figura 161 – Caso studio 2: Panoramica CER2 nel caso dell'impianto fotovoltaico dell'albergo di 50 kW 145
Figura 162 – Caso studio 2: Autoconsumo vs immissione nel caso di un impianto fotovoltaico di 100 kW 146
Figura 163 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione dell'albergo con un impianto fotovoltaico da 100 kW in una settimana invernale 147
Figura 164 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione dell'albergo con un impianto fotovoltaico da100 kW in una settimana estiva 147
Figura 165 – Caso studio 2: Panoramica CER2 nel caso dell'impianto fotovoltaico dell'albergo di 100 kW 148
Figura 166 – Caso studio 2: Autoconsumo vs immissione nel caso di un impianto fotovoltaico di 150 kW 149
Figura 167 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione dell'albergo con un impianto fotovoltaico da 150 kW in una settimana invernale 149
Figura 168 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione dell'albergo con un impianto fotovoltaico da 150 kW in una settimana estiva 149
Figura 169 – Caso studio 2: Panoramica CER2 nel caso dell'impianto fotovoltaico dell'albergo di 150 kW 150
Figura 170 – Caso studio 2: Autoconsumo vs prelievo per la CER2 152
Figura 171- Caso studio 2: Autoconsumo vs immissione per la CER2 152
Figura 172 – Caso studio 2: Panoramica comunità CER2 153
Figura 173 – Caso studio 2: Energia autoconsumata, prodotta e consumata dalle categorie nella CER2 154
Figura 174 – Caso studio 2: Incentivi per le categorie della CER 2 154
Figura 175 – Caso studio 2: Incentivi per il consumo per le categorie della CER2 154
Figura 176 – Caso studio 2: Incentivi per la produzione per le categorie della CER2 155
Figura 177 – Caso studio 2: Energia prelevata, immessa e autocondivisa dalla CER2 in una settimana invernale 155

Figura 178 – Caso studio 2: Energia prelevata, immessa e autocondivisa dalla CER2 in una settimana estiva 155
Figura 179 – Caso studio 2: Autoconsumo vs immissione nella CER2 e prova uno 157
Figura 180 – Caso studio 2: Panoramica comunità nella CER2 e nella prova uno 157
Figura 181 – Caso studio 2: Incentivi per la produzione nella CER2 e nella prova uno 158
Figura 182- Caso studio 2: Incentivi per il consumo nella CER2 e nella prova uno 158
Figura 183 – Caso studio 2: Energia autoconsumata, prodotta e consumata per ogni categoria nella CER2 e nella prova uno 158
Figura 184 – Caso studio 2: Incentivi per ogni categoria nella CER2 e nella prova uno 159
Figura 185 – Caso studio 2: Risparmio annuo in bolletta degli utenti residenziali nella prova uno 159
Figura 186 – Caso studio 2: Prosumer residenziale nella prova uno 159
Figura 187 – Caso studio 2: Azienda nella prova uno 160
Figura 188 – Caso studio 2: Albergo nella prova uno 160
Figura 189 – Caso studio 2: Autoconsumo vs immissione nella CER2 e prova due 161
Figura 190 – Caso studio 2: Panoramica comunità nella CER2 e nella prova due 161
Figura 191 – Caso studio 2: Incentivi per la produzione nella CER2 e nella prova due 162
Figura 192 - Caso studio 2: Incentivi per il consumo nella CER2 e nella prova due 162
Figura 193 – Caso studio 2: Energia autoconsumata, prodotta e consumata per ogni categoria nella CER2 e nella prova due 162
Figura 194– Caso studio 2: Risparmio annuo in bolletta degli utenti residenziali nella prova due 163
Figura 195 – Caso studio 2: Incentivi per ogni categoria nella CER2 e nella prova due 163
Figura 196 – Caso studio 2: Prosumer residenziale nella prova due 163
Figura 197 – Caso studio 2: Azienda nella prova due 164
Figura 198 – Caso studio 2: Albergo nella prova due 164
Figura 199 – Caso studio 2: Autoconsumo vs prelievo nella CER2 e prova tre 165
Figura 200 – Caso studio 2: Panoramica comunità nella CER2 e nella prova tre 165
Figura 201 – Caso studio 2: Curva di carico di un'industria e di un utente residenziale 166
Figura 202 - Caso studio 2: Incentivi per la produzione nella CER2 e nella prova tre 166
Figura 203 - Caso studio 2: Incentivi per il consumo nella CER2 e nella prova tre 166
Figura 204 – Caso studio 2: Energia autoconsumata, prodotta e consumata per ogni categoria nella CER2 e nella prova tre 167
Figura 205 – Caso studio 2: Incentivi per ogni categoria nella CER2 e nella prova tre 167
Figura 206 – Caso studio 2: Risparmio annuo in bolletta degli utenti residenziali nella prova tre 167
Figura 207 – Caso studio 2: Prosumer residenziale nella prova tre 168
Figura 208 – Caso studio 2: Albergo nella prova tre 168
Figura 209 – Caso studio 2: Azienda nella prova due 168
Figura 210 – Caso studio 2: Autoconsumo vs prelievo nella CER2 e prova quattro 169
Figura 211 – Caso studio 2: Panoramica comunità nella CER2 e nella prova quattro 169
Figura 212 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione della CER2 170
Figura 213 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione della quarta prova 170
Figura 214- Caso studio 2: Incentivi per la produzione nella CER2 e nella prova quattro 171
Figura 215 – Caso studio 2: Incentivi per il consumo nella CER2 e nella prova quattro 171
Figura 216 – Caso studio 2: Energia autoconsumata, prodotta e consumata per ogni categoria nella CER2 e nella prova quattro 171
Figura 217 – Caso studio 2: Incentivi per ogni categoria nella CER2 e nella prova quattro 172
Figura 218 – Caso studio 2: Prosumer residenziale nella prova quattro 172

Figura 219 – Caso studio 2: Risparmio annuo in bolletta degli utenti residenziali nella prova quattro 172
Figura 220 – Caso studio 2: Azienda nella prova quattro 173
Figura 221 – Caso studio 2: Albergo nella prova quattro 173
Figura 222 – Conclusioni: VAN al ventesimo anno nel caso studio 1 177
Figura 223 – Conclusioni: Tempo di ritorno e VAN/I nel caso studio 1 177
Figura 224 – Conclusioni: VAN al ventesimo anno aumentando il numero degli utenti nel caso studio 1 178
Figura 225 – Conclusioni: VAN/I aumentando il numero degli utenti nel caso studio 1 178

Lista delle tabelle

Tabella 1 – Confronto tra CEC e CER 39
Tabella 2 - Curve di carico elettrico residenziale e relativo consumo annuale 66
Tabella 3 - Zone climatiche italiane e numero di comuni associato 88
Tabella 4 – Consumo degli uffici italiani, ENEA 90
Tabella 5 – Prezzo degli impianti fotovoltaici residenziali 99
Tabella 6 – Componenti del costo in bolletta domestico mercato elettrico tutelato 101
Tabella 7 – Riassunto delle componenti del costo in bolletta domestico mercato elettrico tutelato 102
Tabella 8 – Componenti della bolletta non domestica mercato libero dell'energia 102
Tabella 9 – Riassunto componenti della bolletta non domestica mercato libero dell'energia 106
Tabella 10 – Corrispettivi per il GSE 108
Tabella 11 – Imposte nel Ritiro Dedicato 108
Tabella 12 – Caso studio 1: Indicatori economici per l'impianto da 10 kW 118
Tabella 13 - Caso studio 1: Risparmio annuo in bolletta con un impianto da 200 kW 124
Tabella 14 - Caso studio 1: Superficie degli impianti fotovoltaici sul tetto al variare della potenza 125
Tabella 15 – Caso studio 2: Prezzo zonale orario medio nei mesi del 2019 138
Tabella 16 – Caso studio 2:Corrispettivi amministrativi per lo Scambio Sul Posto 139
Tabella 17 – Caso studio 2:Vantaggi economici dell'albergo con un impianto da 10 kW 143
Tabella 18 – Caso studio 2:Vantaggi economici dell'albergo con un impianto da 50 kW 146
Tabella 19 – Caso studio 2: Vantaggi economici dell'albergo con un impianto da 100 kW . 148
Tabella 20 – Caso studio 2: Vantaggi economici dell'albergo con un impianto da 150 kW . 150
Tabella 21 – Caso studio 2: Vantaggio economico degli utenti residenziali della CER2 156
Tabella 22 – Caso studio 2: Vantaggio annuo degli utenti commerciali ed industriali nella CER2 156

Lista delle equazioni

Equazione 1 - Variazione della curva di carico degli utenti residenziali 84
Equazione 2 - Esempio di calcolo di fabbisogno invernale di un condominio a Milano 85
Equazione 3 - Esempio di calcolo di un fabbisogno di ACS in un condominio a Milano 85
Equazione 4 - Esempio di calcolo del fabbisogno di energia elettrica per riscaldamento e ACS in un condominio a Milano 86
Equazione 5 – Flusso di cassa attualizzato 98
Equazione 6 – Tempo di ritorno 99
Equazione 7 – Ricavo per la vendita di energia elettrica 101
Equazione 8 – Stima per il risparmio per il mancato acquisto di energia dalla rete 107
Equazione 9 – Stima della mancata emissione di CO_2 109
Equazione 10 – Stima della spesa annuale per l'energia elettrica 109
Equazione 11 – Stima del risparmio annuo in bolletta per gli incentivi per il consumo 110
Equazione 12 - Contributo per lo scambio sul posto 138
Equazione 13 – Corrispettivo unitario di scambio forfettario per potenze minori o uguali a 20 kW 139
Equazione 14 Corrispettivo unitario di scambio forfettario per potenze maggiori di 20 kW 139
Equazione 15 – Eccedenze dello scambio sul posto 139

Abstract

The current energy paradigm is represented by a centralized production, almost completely based on fossil fuels. This situation leads to a series of problems, which are requiring an urgent intervention. The massive use of fossil fuels as main source of energy is creating, upon other things, climate change. To maintain the temperature increase well below 2 °C compared to pre-industrial level, as indicated in Paris Agreement, it's necessary to increase the percentage of renewable energy sources in our mix. Renewable Energy Communities (RECs) fit into this situation: the spread of a decentralized production can help in exploiting the local energy resources, reducing problems linked to a centralized configuration.
The thesis work analyses the environmental-economic benefits, that a citizen could have in joining a Renewable Energy Community. The goal is to create a software in Excel that shows, in a very simple and understandable way, the advantages of each user in entering a REC. Starting from an initial configuration, charts and indicators help the user to analyse which are the environmental and economic benefits for the community and its members. This platform could help in spreading the concept of Renewable Energy Communities between citizens.
Chapter one discusses the current energy paradigm. The energy mix and its trend during time are analysed, focusing on each source of energy. The concept behind the centralized production and which problems are derived are exposed. Considering the future energy trends, it becomes evident the necessity to intervene. Therefore, a solution is proposed: energy transition.
Chapter two is entirely based on Renewable Energy Communities. First, the benefits created by the spreading of RECs are analysed; then, legal frame is considered, both in Europe and in Italy. Since the software is constructed for the Italian territory, particular attention is paid on the GSE technical rules. At the end, RECs virtuous examples in Europe and Italy are shown.
Chapter three presents the software. At the beginning, a general panoramic is made, in order to understand which, the goals and the outcomes desired are. Then, each Excel sheet is explained in detail. The studies conducted and the hypothesis made are analysed and commented in depth.
Chapter four presents some case studies. The software is used to compare different initial configurations of a REC, to see which maximizes the environmental and economic benefits, to analyze in depth a community and the advantages for each member. Some conclusions are then presented, as the understanding of the studies.

Introduzione

Il paradigma attuale di generazione dell'energia è basato su una produzione centralizzata, quasi completamente dipendente da combustibili fossili. I problemi che ne derivano sono molti: ambientali, geopolitici, economici e sanitari. Uno dei più rilevanti è sicuramente il cambiamento climatico. Per mantenere l'incremento di temperatura ben al di sotto dei 2 °C rispetto al periodo preindustriale, obiettivo indicato dagli Accordi di Parigi, è necessario ridurre la quota di emissioni del settore energetico, responsabile della maggior parte degli inquinanti atmosferici. Una delle soluzioni proposte è la transizione dalle fonti fossili alle fonti rinnovabili. Questi aspetti saranno sempre più rilevanti nel futuro, in cui si prevede un aumento della popolazione e del PIL mondiale.

Le Comunità di Energia Rinnovabile (CER), definite dal Decreto Legge 12/2019 Milleproroghe, come un soggetto giuridico i cui partecipanti producono energia per il proprio consumo con impianti alimentati da fonti rinnovabili e ottengono benefici ambientali, economici o sociali, rientrano nel ventaglio delle possibili soluzioni: esse permettono di sfruttare le risorse rinnovabili locali con una generazione decentralizzata, riducendo la quota fossile nel mix energetico, aumentando l'indipendenza dalla rete elettrica e allievando i problemi di un sistema centralizzato. L'erogazione degli incentivi calcolati sull'energia autocondivisa virtuale, cioè il minimo in ogni ora tra l'energia elettrica immessa e prelevata dalla rete dalla comunità, aumenta il valore economico delle CER, oltre a quello energetico e ambientale, e le rende una possibile fonte di guadagno.

Il lavoro di tesi analizza i benefici economici-ambientali che potrebbero derivare dall'istituzione di una Comunità di Energia Rinnovabile e si inserisce tra gli strumenti volti a promuoverne la diffusione. È stato creato un software su Excel, che permettesse di analizzare una CER da un punto di vista energetico, ambientale ed economico ed avere una visione dettagliata delle spese e dei guadagni di ogni singolo membro. La possibilità di calcolare e di mettere in luce, in modo chiaro anche per i non esperti del settore, i vantaggi di ogni membro della CER rappresenta un mezzo utile a comprenderne il valore e a facilitarne la promozione tra i cittadini. I carichi e la produzione sono stati modellati, attraverso lo studio della letteratura, per ottenere valori orari che rispecchiassero in maniera il più possibile fedele la realtà. L'utilizzo dei fogli di calcolo, quindi, permette di configurare la CER, definendo il ruolo di ogni membro, i carichi e gli impianti associati, di modellare le curve di carico e di produzione, di calcolare l'energia autocondivisa virtuale e gli incentivi in ogni ora, di definire il modo in cui suddividerli e di determinare i vantaggi economici e i flussi di cassa di ogni utente presente, tenendo conto delle spese, dei ricavi e delle imposte. Sono analizzati nel dettaglio gli studi e le ipotesi considerate per la realizzazione del software e sono presentati due casi studio che mettono in evidenza alcuni esempi della sua applicazione.

Il capitolo uno si concentra sull'attuale paradigma dell'energia. Dopo aver presentato il mix energetico e il suo andamento nel tempo, focalizzandosi sulle singole fonti, viene esposto il concetto di generazione centralizzata e i problemi che ne derivano. Considerando anche che le

previsioni future indicano un incremento della domanda di energia, risulta evidente la necessità di modificare il sistema attuale. La transizione verso le fonti rinnovabili viene, quindi, presentata come una possibile soluzione.
Il capitolo due analizza le Comunità di Energia Rinnovabile. Dopo aver esposto i loro benefici, viene approfondito il contesto legale europeo ed italiano in cui sono inserite. Considerando che il software è stato sviluppato per il territorio italiano, sono state analizzate con particolare attenzione le regole tecniche del GSE. Vengono poi presentati alcuni esempi virtuosi in Europa e in Italia.
Il capitolo tre presenta il software, gli output e le finalità desiderate. Ogni foglio di calcolo viene analizzato nel dettaglio, evidenziando quali sono stati gli studi e le ipotesi necessarie alla loro costruzione. Particolare attenzione è stata data alla creazione delle curve di carico, la cui affidabilità risulta essenziale per ottenere risultati vicini alla realtà.
Il capitolo quattro mostra due applicazioni dei fogli di calcolo. Nel primo caso studio si analizza l'istituzione di una CER composta da utenti residenziali prosumer, divisi in cinque condomini, e da un impianto fotovoltaico a terra di potenza crescente; si determina come variano i vantaggi dei membri se si considera di installare impianti di taglia inferiore sui tetti dei condomini, se gli utenti residenziali partecipano alla CER solo come consumatori o se viene aumentato il numero degli utenti della comunità. Nel secondo caso studio si analizza la situazione di un albergo aperto tutto l'anno, con chiusura nel mese di novembre, che installa un impianto fotovoltaico per autoconsumo reale e valuta di inserirsi in uno schema di Scambio Sul Posto o all'interno di due CER, una costituita da trenta condomini residenziali che autocondividono virtualmente tutta l'energia immessa in rete, e una costituita da cinque condomini residenziali e un impianto fotovoltaico da 200 kW. La seconda CER viene poi analizzata nel dettaglio e viene definita una metodologia con cui modificare la sua configurazione e aumentare i vantaggi economici dei suoi membri.

Il lavoro di tesi è stato realizzato in collaborazione con l'area di Ricerca e Sviluppo di Trigenia, Energy Service Company (ESCo) di Torino.

1. IL PANORAMA ENERGETICO MONDIALE

1.1 Il mix energetico mondiale

La situazione energetica mondiale viene analizzata a partire dai report "Statistical Review of World Energy", redatti da BP, del 2019 e del 2020. Si è deciso di prendere in considerazione due anni poiché il 2020 è stato protagonista della diffusione della pandemia Covid-19, condizione che ha causato importanti ripercussioni anche nel settore energetico.

Il consumo mondiale di energia primaria è aumentato nel corso degli anni, arrivando nel 2018 ad essere più che il doppio rispetto al 1973. Il 2018 e il 2019 hanno confermato questa tendenza, registrando una crescita rispettivamente del 2,8% e dell'1,3%.
Nel 2020, la situazione di emergenza ha causato una diminuzione del PIL globale del 3,5 e una riduzione del consumo di energia pari al 4,5%, la più grande dalla Seconda Guerra Mondiale.

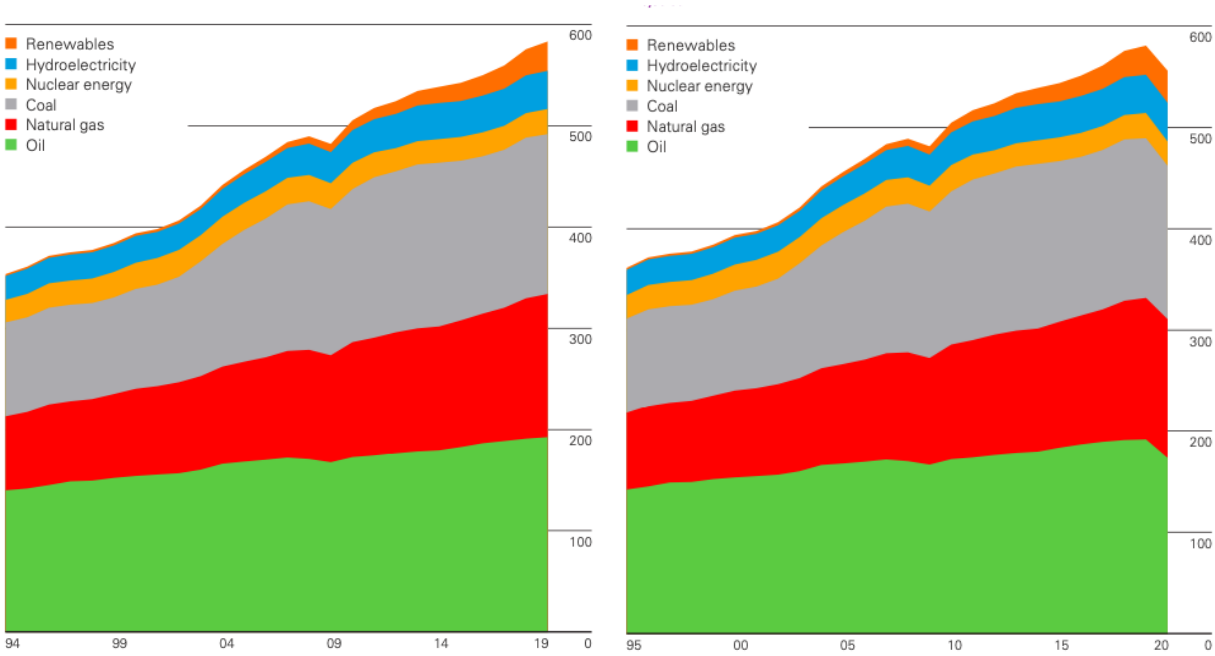


Figura 1 – Consumo energetico mondiale in EJ fino a dicembre 2019 e a dicembre 2020 [3][4]

Più dell'80% della richiesta di energia viene soddisfatta da fonti fossili: nel 2019, il petrolio ha detenuto il più grande share nel mix energetico (33,1%), seguito dal carbone (27,0%); gas naturale e rinnovabili sono cresciuti, arrivando rispettivamente a 24,2% e 5% del totale, mentre l'idroelettrico è rimasto stabile al 6%.
Il 2020 ha riaffermato e accelerato le tendenze già precedentemente viste nel 2019. Il petrolio è rimasto la fonte più utilizzata (31,2%), seguito dal carbone, che ha registrato un piccolo aumento rispetto all'anno precedente (27,2%). Molto importante è stata la crescita del gas naturale e delle rinnovabili, saliti al 24,7% e al 5,7%. L'idroelettrico ha verificato il primo aumento dal 2014, raggiungendo il 6,9%.

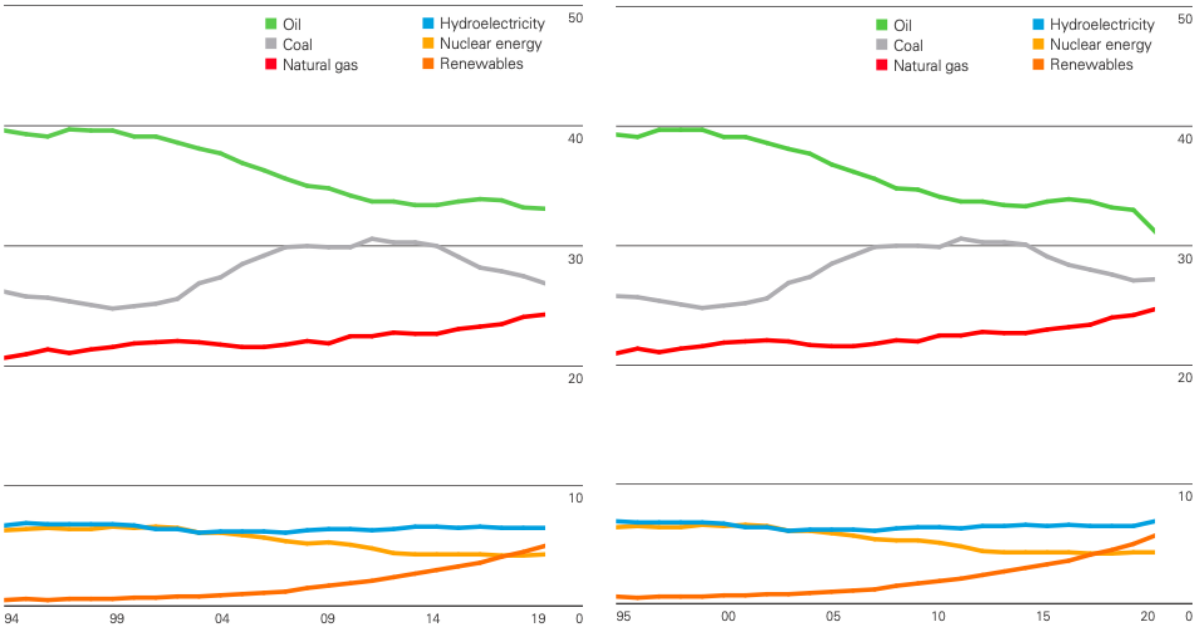


Figura 2 – Percentuale dello share di energia primaria nel 2019 e nel 2020 [3][4]

Grande differenza si tra i mix energetici nelle diverse parti del mondo. Il petrolio rappresenta lo maggiore fonte di energia in Africa, Europa e America, mentre il gas naturale è dominante in Russia e in Medio Oriente. Il carbone rimane ancora la risorsa principale in Asia-Pacifico.

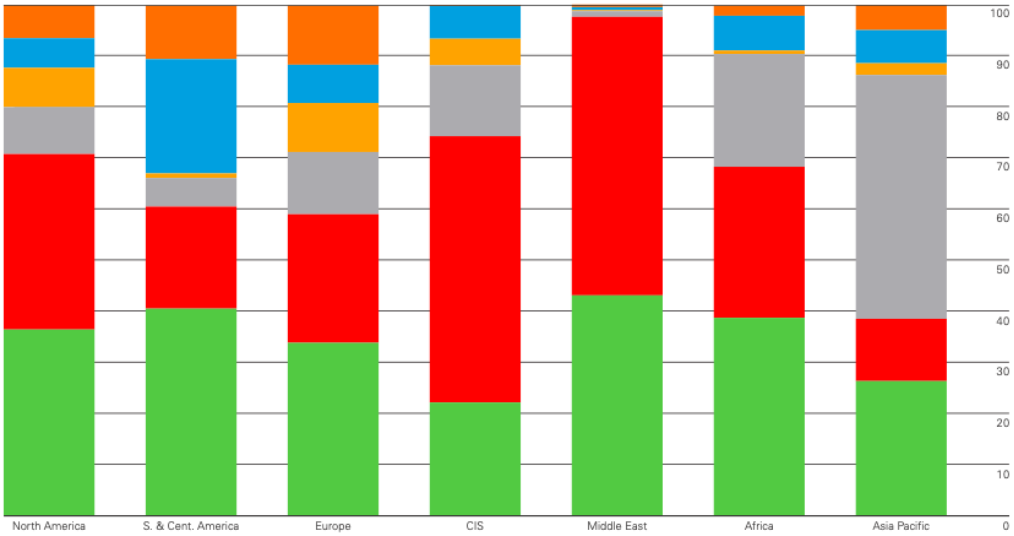


Figura 3 – Percentuale dello share energetico per fonte nelle diverse zone del mondo [4]

1.1.1 Le fonti rinnovabili

Negli ultimi cinque anni, le rinnovabili hanno rappresentato il 60 % della crescita della potenza di generazione, con solare ed eolico che hanno duplicato l'energia generata. L'aumento delle rinnovabili si è verificato a scapito del carbone, che ha subito, nel 2020, uno dei declini maggiori della sua storia (4,4%). Oltre alla diminuzione della domanda di energia a causa della pandemia e il sempre maggiore utilizzo di fonti rinnovabili, infatti, la sua perdita

di competitività con il gas naturale, specialmente negli Stati Uniti e in Europa, rappresenta una delle cause principali del suo replacement.

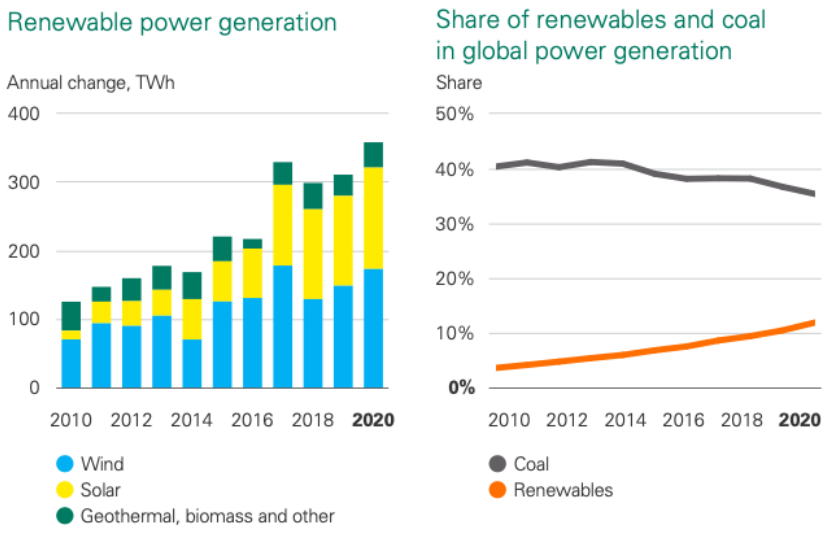


Figura 4 – Variazione annuale nella generazione di energia da fonti rinnovabili e share delle fonti rinnovabili e del carbone nella generazione globale [4]

La capacità di solare ed eolico è più che raddoppiata tra il 2015 e il 2020, con un incremento totale di 800 GW e annuale del 18%; solo nel 2020, è aumentata di 238 GW, 50% in più di ogni altro anno della storia. Circa la metà di tutta la nuova potenza è installata in Cina, leader nella generazione rinnovabile.

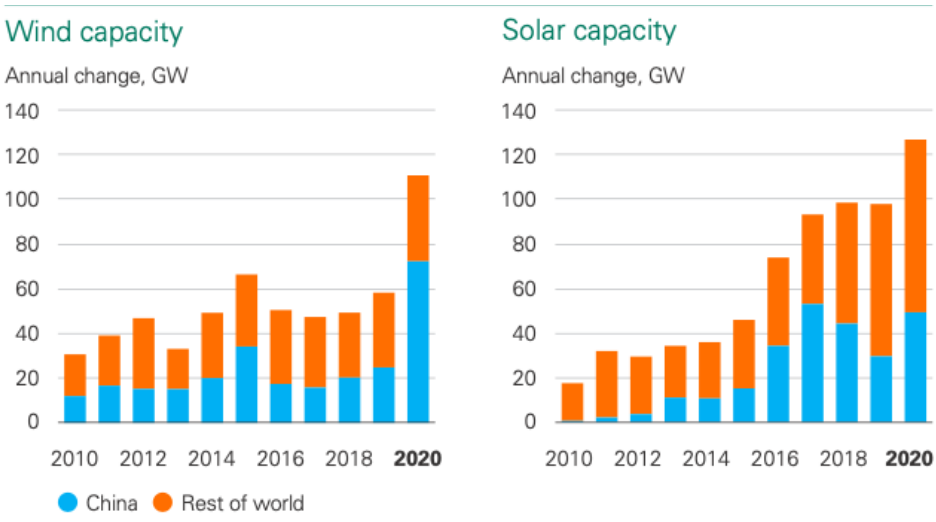


Figura 5 – Nuova potenza installata annualmente per eolico e solare [4]

Asia Pacifico, Europa e Nord America sono i maggiori consumatori di energia rinnovabile. L'incremento nella generazione di energia da FER è legato principalmente alla Cina (1,0 EJ), seguita dagli Stati Uniti (0,4 EJ) e da Giappone, Regno Unito, India e Germania (0,1 EJ).
La fonte più utilizzata è l'eolico, che rappresenta anche il maggiore contributo alla crescita delle fonti rinnovabili, con un aumento nella generazione di 173 TWh.

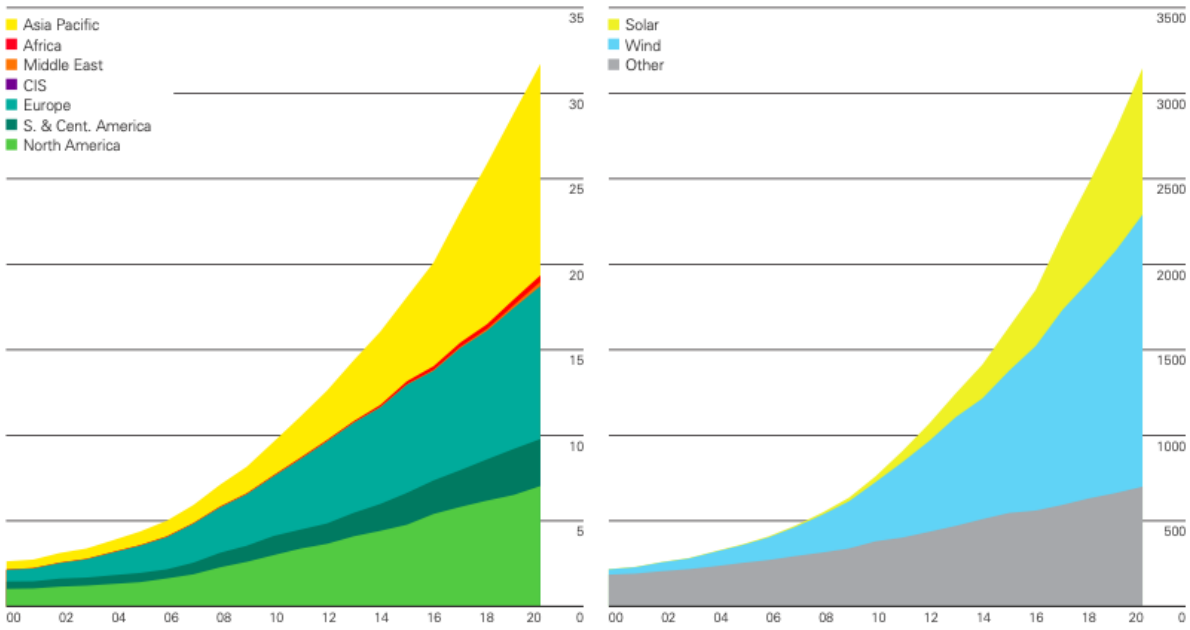


Figura 6 - Consumo di rinnovabili per regione in Exajoule e generazione rinnovabile in Terawattora [4]

1.1.2 Petrolio

Nel settore petrolifero si registra una distinzione tra Paesi produttori e consumatori: Medio Oriente, CSI e, in misura minore, Africa sono le zone di produzione, Europa, Asia Pacifico e Cina, in particolare, quelle di importazione. Differente è la situazione del Nord America, che produce pressoché la quantità che consuma.

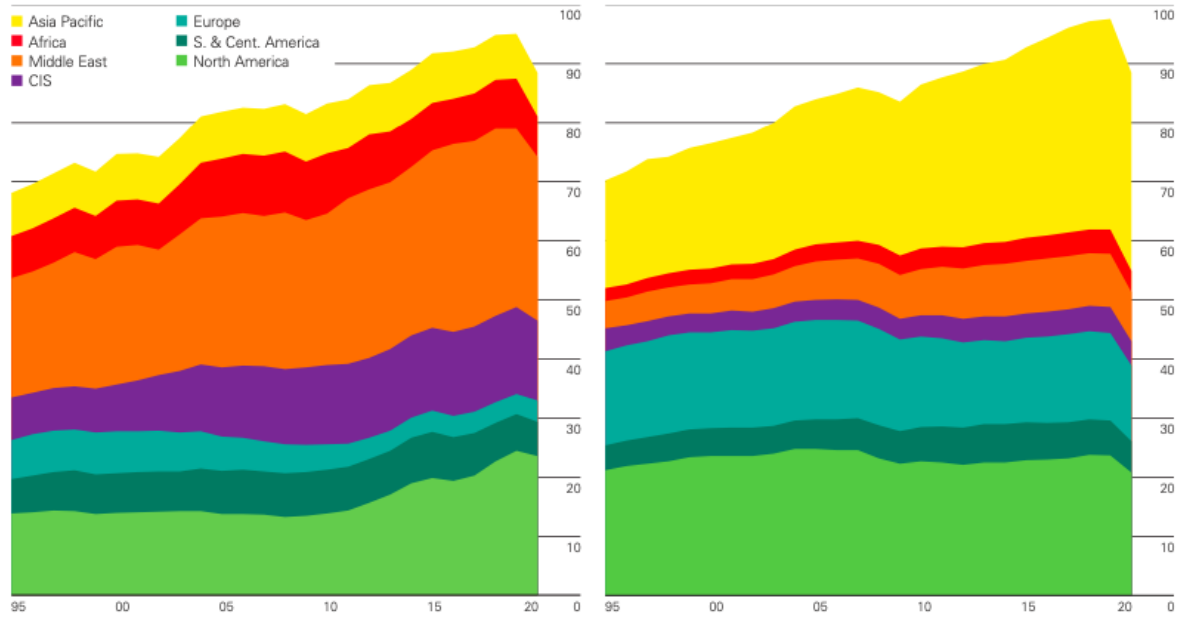


Figura 7 – Produzione e consumo di petrolio in milioni di barili al giorno [4]

La distribuzione dei Paesi esportatori ed importatori è resa ancora più evidente dall'analisi dei traffici di petrolio nel mondo.

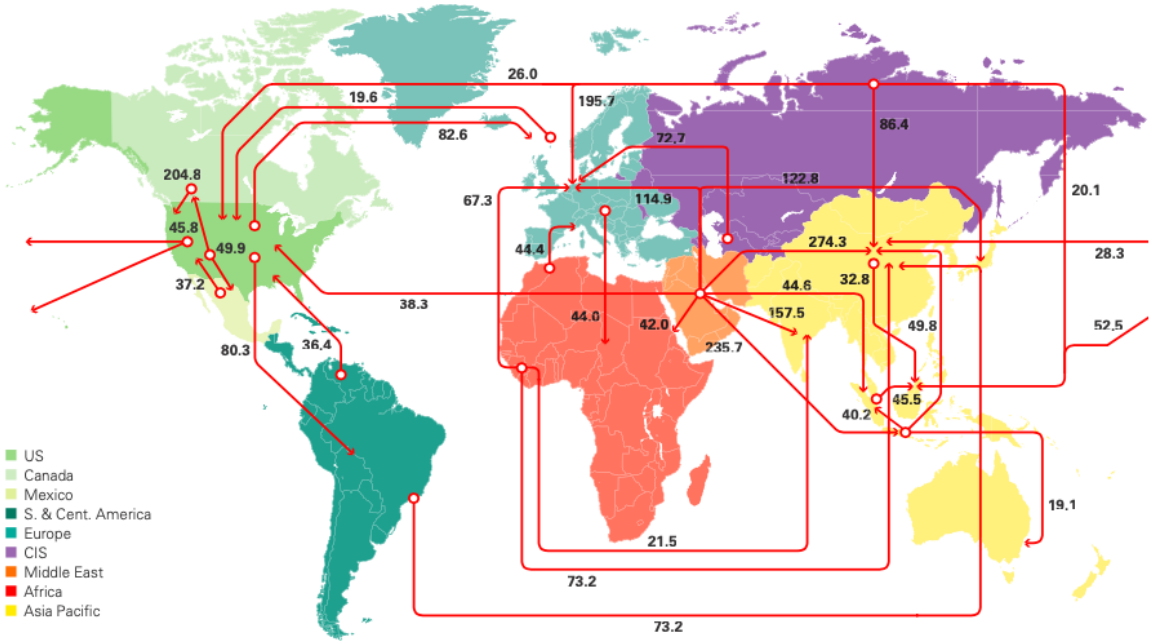


Figura 8 – Traffici di petrolio nel mondo in milioni di tonnellate [4]

1.1.3 Gas naturale

Per quanto riguarda il gas naturale, c'è un minore squilibrio tra Paesi importatori ed esportatori rispetto al caso del petrolio e una buona parte della produzione viene consumata in loco. Europa e Asia Pacifico importano GN, CSI, Medio Oriente ed Africa esportano. I maggiori consumi pro-capite si verificano in Nord America, in Russia e nel Medio Oriente.

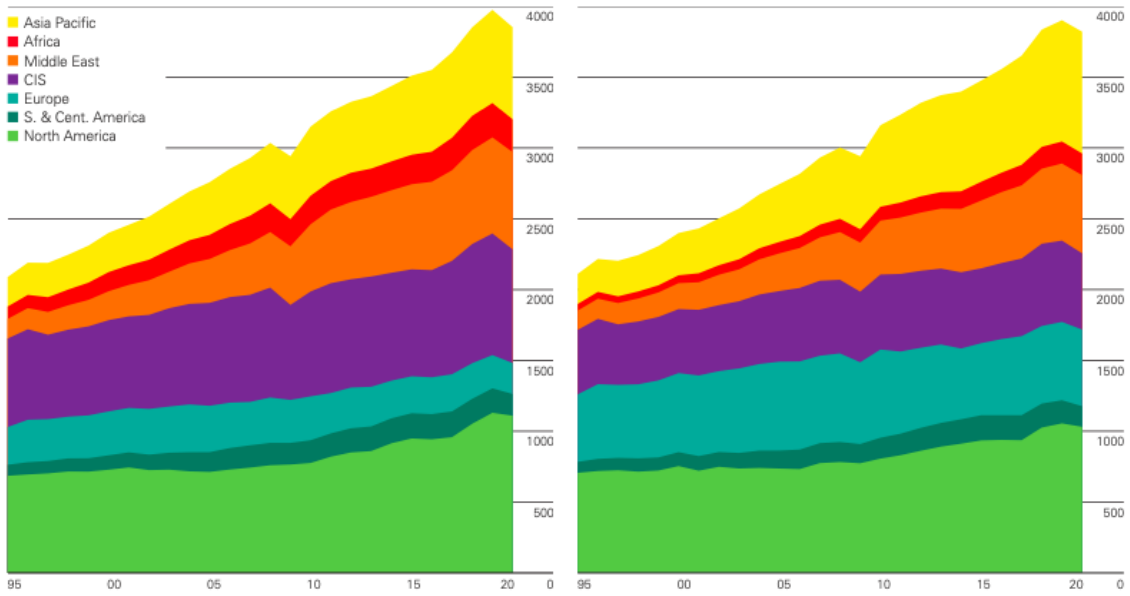


Figura 9 – Produzione e consumo di gas naturale in miliardi di metri cubi [4]

1.1.4 Carbone

Nel 2020 il consumo mondiale di carbone è sceso nel 2020 del 4,2%, il quarto declino in quattro anni. Mentre nei Paesi OECD, la domanda è calata rapidamente, registrando -19,1% negli Stati Uniti e -12,2% in Corea del Sud, nei Paesi non-OECD la situazione è più varia, con

India e Indonesia che hanno registrato un forte declino nel consumo e Cina e Malesia un aumento, dello 0,3% e del 18,7%.
La maggior parte del consumo e della produzione di verifica in Asia Pacifico, che produce circa quello che consuma. L'Europa è un continente importatore, CSI e Africa esportatori.

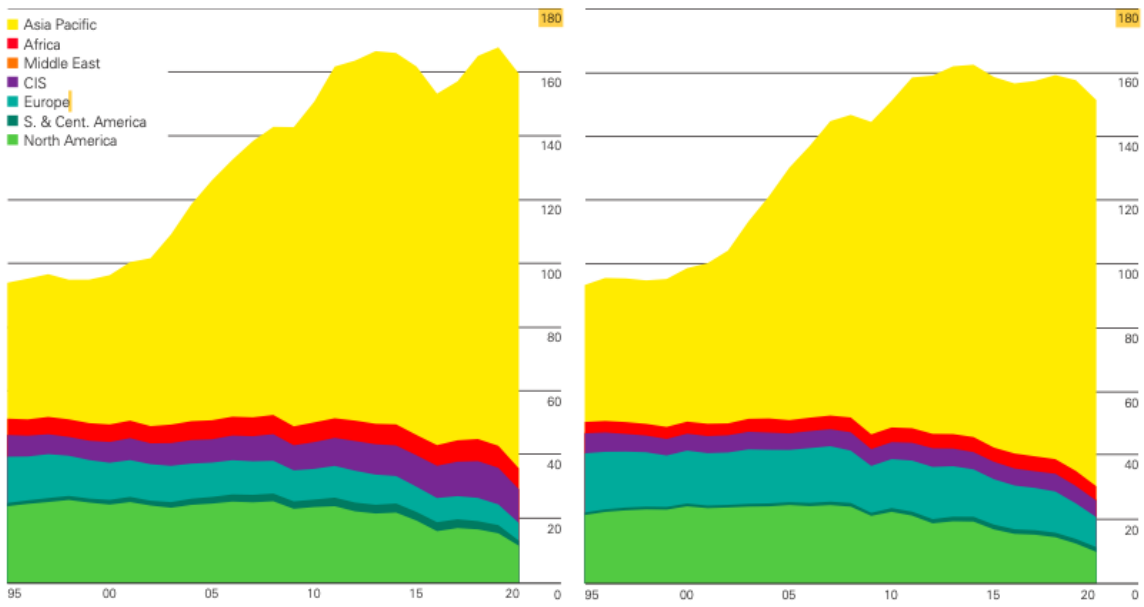


Figura 10 – Produzione e consumo di carbone in exajoule [4]

1.1.5 Elettricità

Il gas naturale è il combustibile più utilizzato per generare elettricità in Nord America, CSI, Medio Oriente ed Africa. In Sud e Centro America più della metà dell'energia elettrica è ottenuta dall'idroelettrico, mentre in Asia è il carbone a rappresentare il 57% del mix di generazione. Nel 2020, in Europa, le rinnovabili sono diventate la più grande fonte di elettricità (23,8%), superando per la prima volta il nucleare (21,6%). La generazione europea è comunque abbastanza equamente suddivisa tra rinnovabili, nucleare, gas e idroelettrico.

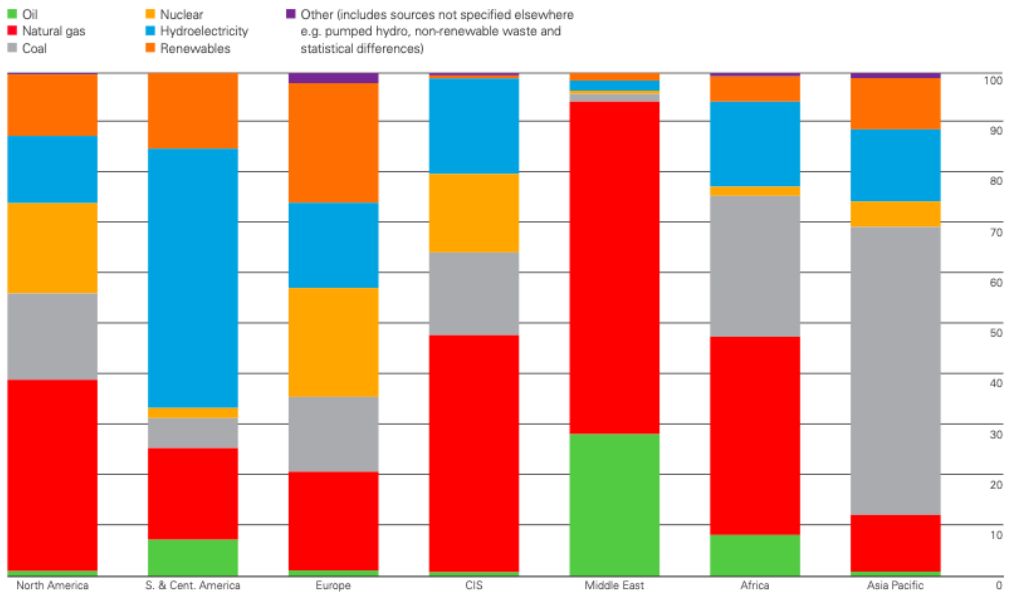


Figura 11 – Percentuale della generazione di elettricità per fonte [4]

A livello globale, il carbone è il combustibile più utilizzato, nonostante nel 2020 il suo utilizzo sia sceso al livello minimo dal 1988. La percentuale di utilizzo delle rinnovabili è salita fino a livelli record, 11,7%, diventando la fonte dominante nella generazione di energia elettrica in Europa.

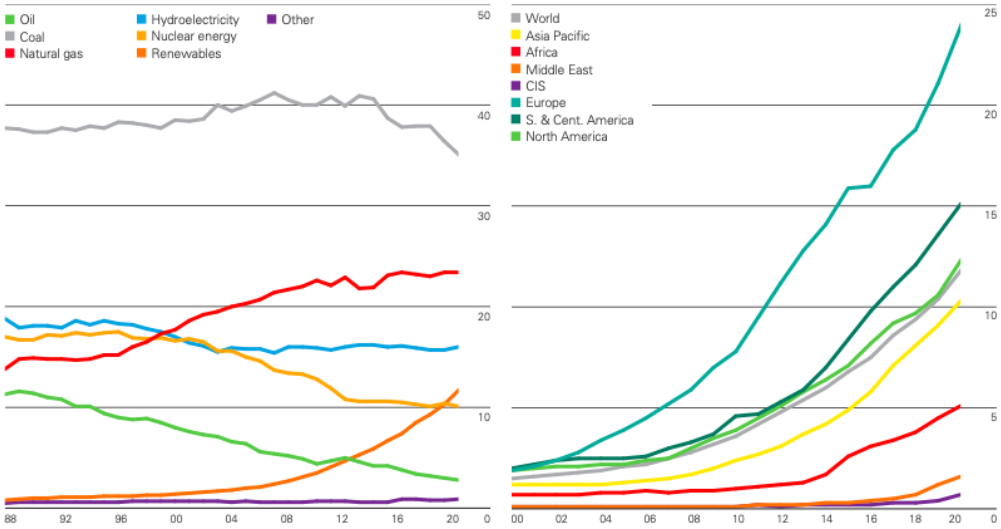


Figura 12 – Percentuale di generazione elettrica per combustibile e percentuale di generazione elettrica delle rinnovabili per regioni del mondo [4]

1.2 Il paradigma centralizzato di generazione dell'elettricità e le spinte per il suo cambiamento

1.2.1 Generazione centralizzata e distribuita

Per generazione centralizzata si intende il processo di generare elettricità in impianti centralizzati di grandi dimensioni, localizzati lontano dai consumatori, e di distribuirla attraverso linee di trasmissione ad alto voltaggio. Un piccolo numero di impianti genera, quindi, elettricità per un grande numero di persone.

La generazione centralizzata è composta da quattro parti:

1) *Produzione*: l'energia elettrica viene principalmente generata convertendo l'energia cinetica, ottenuta sfruttando differenti risorse, tra cui carbone, gas naturale, rinnovabili e nucleare.
2) *Trasmissione*: l'elettricità generata viene trasmessa attraverso linee di trasmissione, che possono essere ad alto voltaggio, tra i 69 kV e i 138 kV, o a ultralto voltaggio, 345-800 kV, a seconda della distanza. Esse collegano gli impianti direttamente ai grandi consumatori oppure alle sottostazioni, che possono aumentare o ridurre il voltaggio a seconda dell'ulteriore distanza da percorrere.

3) *Distribuzione*: l'elettricità passa dalle sottostazioni ai consumatori attraverso le linee di distribuzione, che possono essere a medio voltaggio (tra 1000 V e 69kV), se connettono una zona urbana ad una suburbana, o a basso voltaggio (meno di 1000 V), se sono connesse ai consumatori finali.
4) *Utenze*: le utenze sono collegate alla rete e possono essere residenziali, commerciali, industriali o legate ai trasporti.

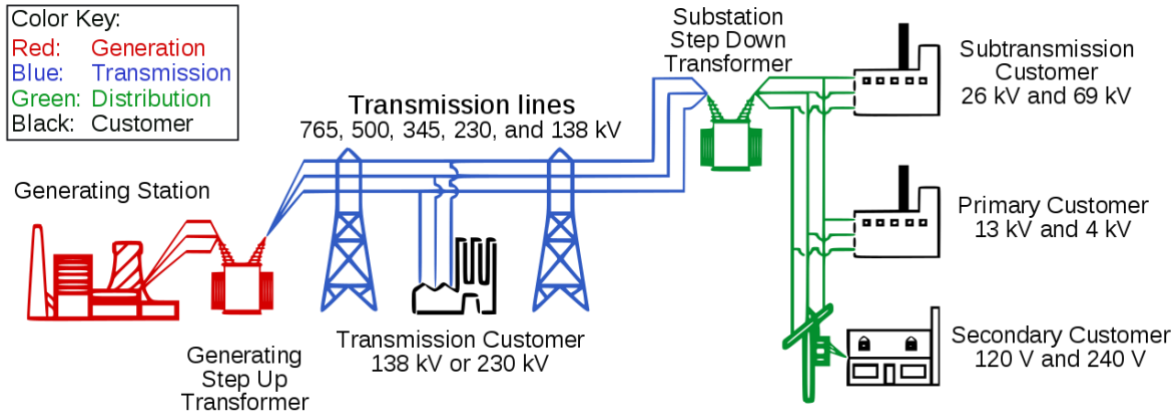


Figura 13 – La rete elettrica in un paradigma centralizzato [7]

Per generazione distribuita si intende la produzione di elettricità in impianti di piccole dimensioni, dispersi o localizzati in più punti del territorio, e allacciati direttamente alla rete di distribuzione. Gli impianti possono essere motori termici, pannelli fotovoltaici, piccole centrali a biomassa, con taglie di pochi kW o fino a pochi MW, e possono servire una singola struttura, come una casa o un'attività commerciale, oppure essere parte di una micro-rete, come nel caso di un'industria, una base militare o un campus universitario. Nel settore residenziale, le tecnologie distribuite sono per lo più pannelli solari, piccole turbine eoliche, generatori di back-up e celle a combustibile. Nelle applicazioni commerciali e industriali si trovano sistemi combinati, pannelli fotovoltaici, sistemi eolici, biomasse, inceneritori.

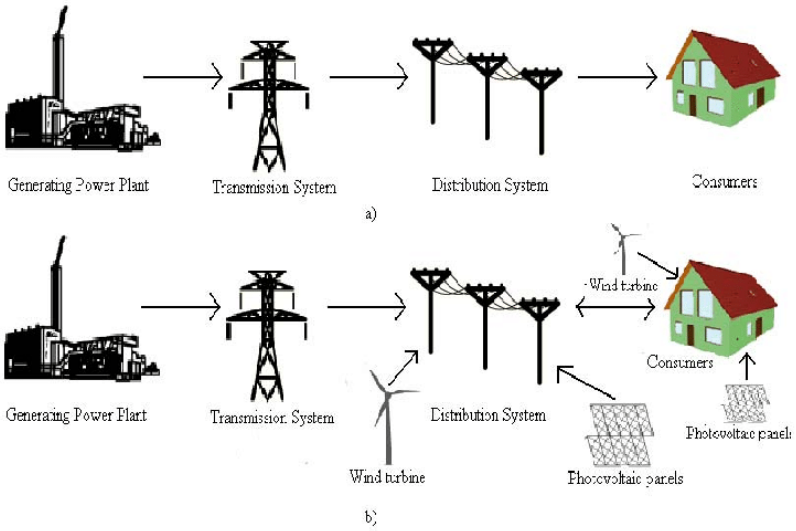


Figura 14 - a) Schema della rete elettrica in un paradigma centralizzato b) paradigma distribuito [8]

L'attuale sistema elettrico è basato principalmente sulla generazione centralizzata, ma non è sempre stato così. Nei primi anni in cui si è diffusa l'elettricità, la generazione distribuita rappresentava la casistica più comune: gli impianti fornivano energia ai consumatori nelle vicinanze, le reti elettriche erano in corrente continua (CC), il voltaggio limitato, il bilancio tra domanda e offerta era realizzato localmente, grazie ad accumuli che potevano essere combinati con la rete in CC.
Diverse sono state le motivazioni che hanno portato al cambio di paradigma, in cui la generazione è concentrata e il livello di integrazione è maggiore:

1) *Economia di scala*: la possibilità di aumentare la dimensione delle turbine ha permesso di ridurre i costi marginali;
2) *Maggiore efficienza energetica*: utilizzare macchine di maggiori dimensioni, che sono in grado di operare con vapore a pressione e temperatura maggiori, ha creato miglioramenti nell'efficienza;
3) *Innovazioni nella trasmissione dell'elettricità*: l'utilizzo della corrente alternata al posto di quella continua ha permesso di trasmettere l'elettricità per grandi distanze, riducendo le perdite;
4) *Ricerca di affidabilità*: avere impianti di produzione di grandi dimensioni permette di aumentare l'affidabilità del sistema, in quanto si riesce a compensare le interruzioni dei singoli impianti;
5) *Limiti ambientali*: l'utilizzo di linee di trasmissione ha reso possibile la ricollocazione degli impianti di generazione al di fuori delle città, riducendo l'inquinamento dovuto all'utilizzo di carbone nell'ambiente cittadino;
6) *Regolamentazioni*: nuove regolamentazioni hanno favorito la creazione di impianti più grandi.

1.2.1 I motivi dell'interesse verso un sistema distribuito

Recentemente si è visto aumentare l'interesse per una generazione distribuita, a causa dei seguenti motivi:

1) *Liberalizzazione del mercato elettrico*: la generazione distribuita permette agli attori del mercato elettrico di rispondere più velocemente al cambiamento delle condizioni esterne, con macchine più flessibili. Questa caratteristica può essere sfruttata per:
   a) "Peak shaving": la generazione distribuita può essere utilizzata per approfittare delle fluttuazioni del prezzo dell'energia elettrica;
   b) Affidabilità: le interruzioni del servizio elettrico si verificano quando il valore del voltaggio scende vicino allo zero, causando una diminuzione di affidabilità. Sebbene per la maggior parte dei consumatori questo aspetto non sia rilevante, per alcuni di essi avere un approvvigionamento di energia sicuro è cruciale e per questo si ricorre ad un impianto distribuito;
   c) Alternativa all'espansione della rete locale: la generazione distribuita potrebbe servire come alternativa all'espansione la rete di trasmissione e distribuzione, se i combustibili primari sono presenti localmente. La produzione in loco permetterebbe di risparmiare i costi di trasmissione e di distribuzione, equivalenti in media al 30% del costo dell'elettricità (per i residenziali anche del 40%) e di evitare le perdite della rete, che nei Paesi OECD rappresentano il 6,8%;

d) Supporto alla rete: la generazione distribuita può aiutare la rete elettrica nei servizi ancillari, cioè tutti quei servizi necessari ad un'operazione stabile e sostenibile.

2) *Problemi ambientali*: il settore energetico è la più grande fonte di inquinanti atmosferici, originati principalmente dalla combustione di fonti fossili e di bioenergia, dall'estrazione di materiali e dalla loro lavorazione industriale. Le emissioni di SO2 e NOx sono quasi interamente attribuibili alla produzione di energia, così come l'85% dei PM. I problemi ambientali che ne derivano rendono necessario un cambio di paradigma.

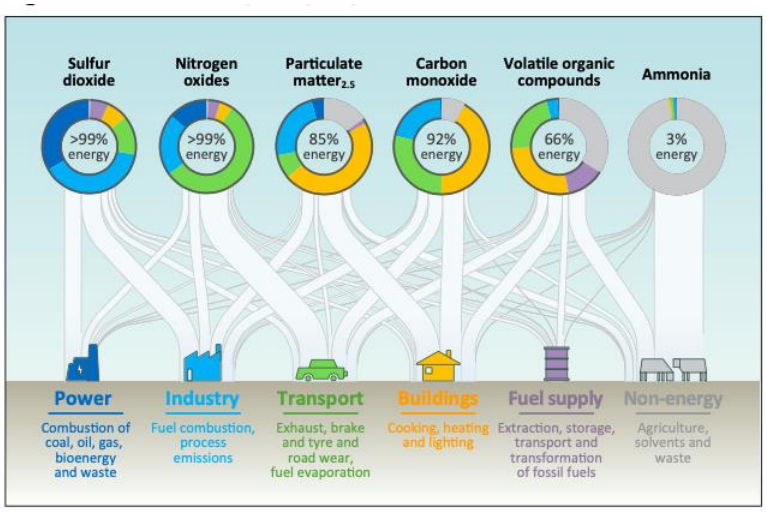


Figura 15 – Lista delle emissioni e delle loro fonti, 2015 [17]

3) *Ottimizzare il consumo di energia combinata*: specialmente nei luoghi in cui la richiesta termica è elevata e costante, la generazione combinata di elettricità e calore permette di ridurre la quantità di energia primaria utilizzata del 10-30%, a seconda della grandezza e dell'efficienza degli impianti di cogenerazione.
4) *Utilizzo di combustibili economici e delle fonti rinnovabili*

1.3 La transizione energetica

1.3.1 I motivi alla base della necessità di una transizione energetica

L'attuale paradigma di generazione dell'energia è causa di molti dei problemi che l'umanità si trova ad affrontare:

- *Ambientali*: circa l'80% dell'energia consumata viene generata tramite combustibili fossili (petrolio, carbone e gas naturale), rendendo il settore energetico responsabile del 73% delle emissioni di gas serra mondiali.

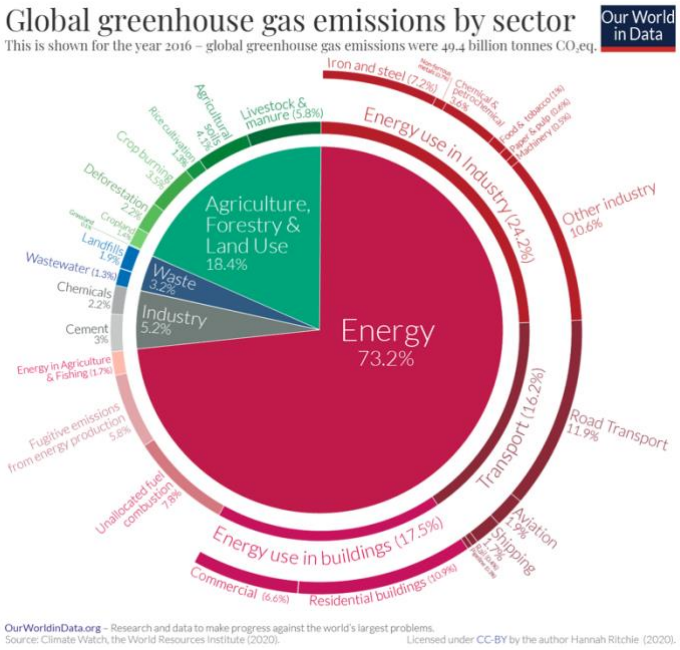


Figura 17 – Percentuale di emissioni di gas serra mondiali per settore [14]

Una maggiore concentrazione di CO_2 nell'atmosfera è collegata ad un aumento della temperatura terrestre e ad un cambiamento climatico. Se si paragona l'andamento della concentrazione di CO_2 in atmosfera, misurata nell'osservatorio di Mauna Loa, con l'andamento della temperatura media anomala registrata in Italia e nel mondo sulla terraferma, riferita al periodo climatologico normale 1961-1990, si evince la loro relazione.

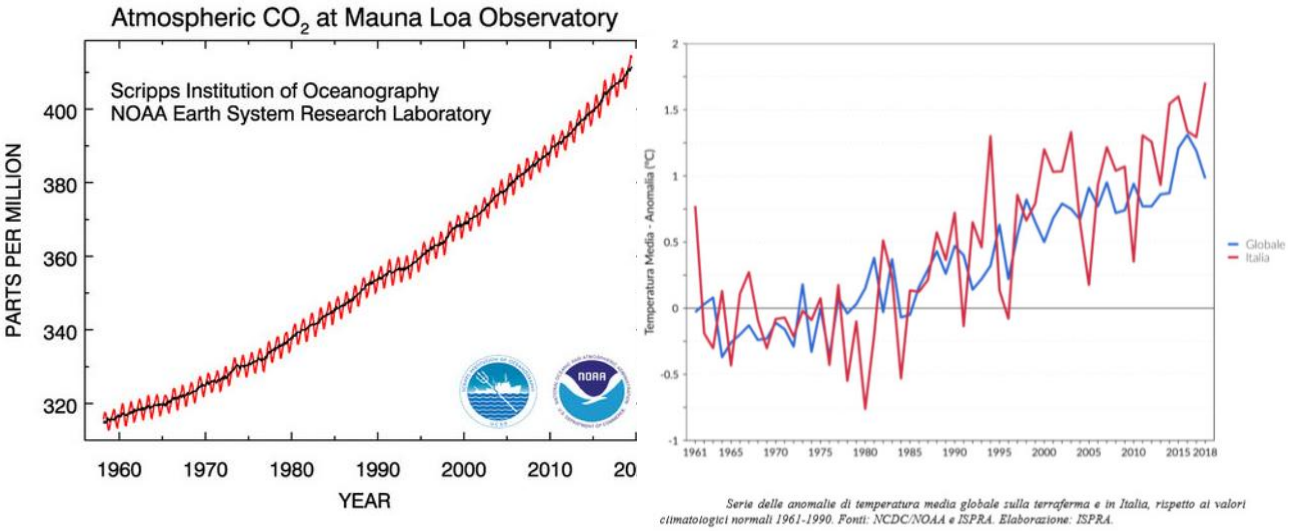


Figura 16 Concentrazione della CO2 atmosferica misurata all'osservatorio di Manua Loa [15] e Anomalie di temperatura media globale sulla terraferma e in Italia, rispetto ai valori climatologici normali 1961-1990 [16]

- *Sanitari*: il settore energetico è la più grande fonte di inquinamento atmosferico, il quarto maggior rischio per la salute, dopo alta pressione, rischi alimentari e fumo. Il particolato fine, l'ozono, NO_x e SO_2 hanno un grave effetto sulla salute umana.

Il grafico mostra il numero di morti ogni 100.000 abitanti dovute all'inquinamento in differenti Stati:

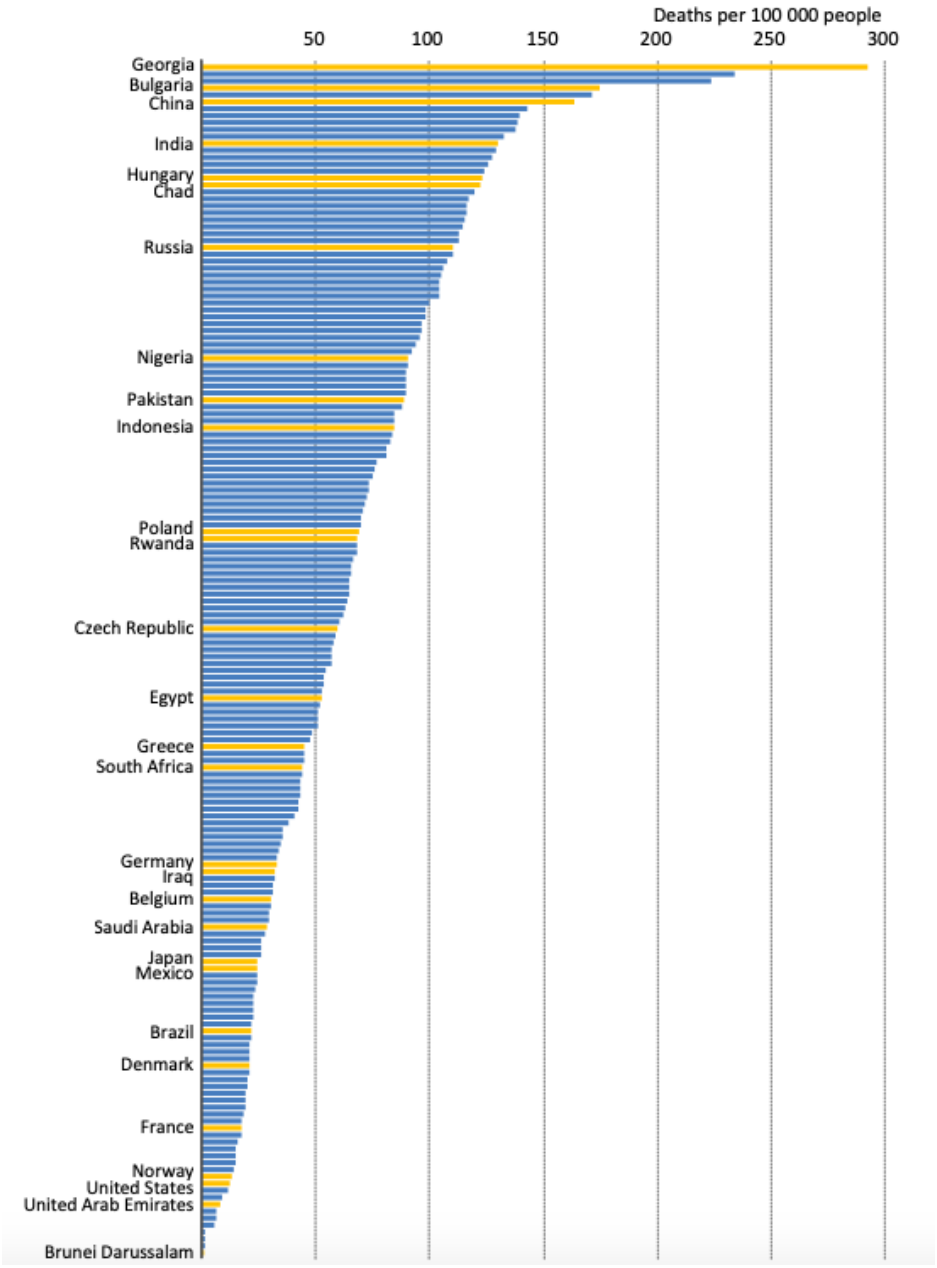


Figura 18 – Tasso di mortalità per inquinamento atmosferico per Stato, 2012 [17]

Nel 2012, 6.5 milioni di morti premature sono state attribuite all'inquinamento atmosferico. Le conseguenze maggiori sulla salute si verificano nei Paesi e nelle classi più povere della società.

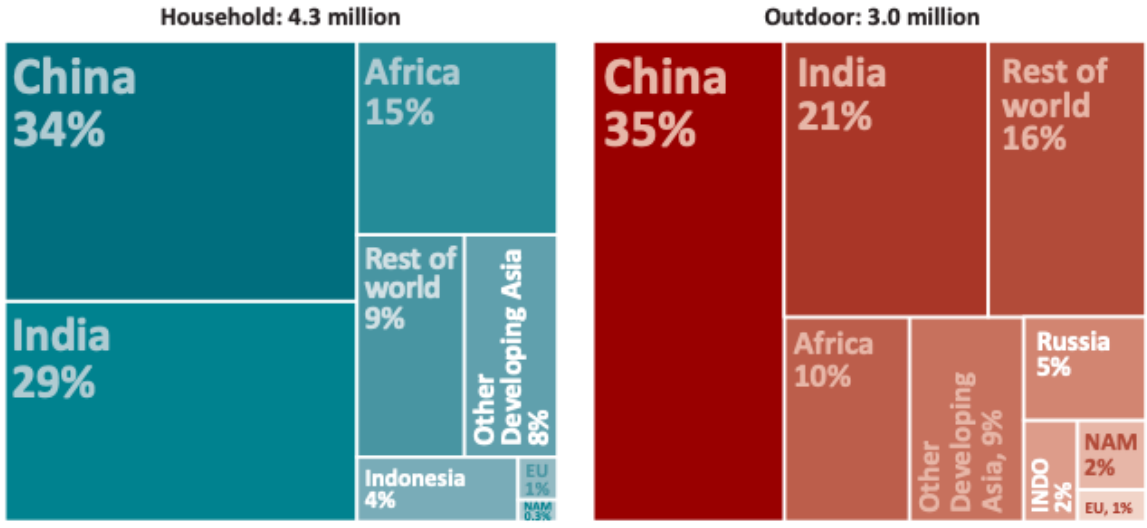


Figura 19 – Morti attribuibili all'inquinamento atmosferico, 2012 [17]

- *Sociali*: le diseguaglianze nel sistema energetico, sia tra Stati che al loro interno, riguardano la quantità di energia utilizzata, i tipi di combustibili e i livelli di accesso da parte della popolazione e si riflettono in una variazione nel reddito, nelle attività di produzione e consumo e nello stile di vita.
  Il 40% più povero della popolazione mondiale dispone del 10% delle entrate economiche e dell'energia; il terzo più ricco, dei due terzi. Un quinto della popolazione mondiale non ha accesso all'elettricità.
  La mancanza di energia adeguata, sicura ed economica limita le opportunità produttive e la crescita e ha un impatto negativo sulla salute e sul benessere economico.

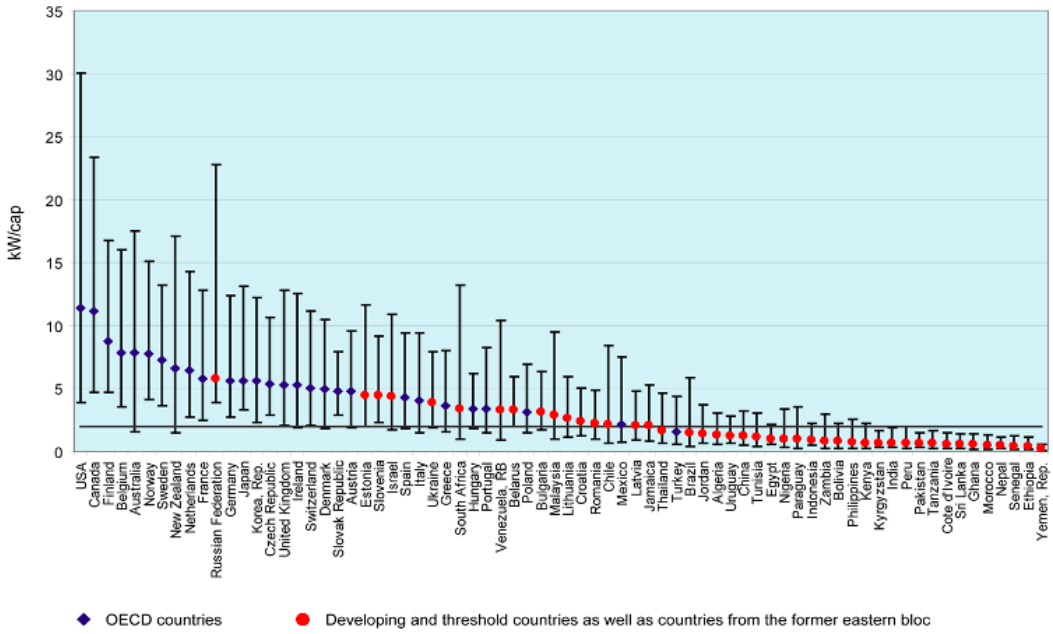


Figura 20 – Consumo energetico procapite nei Paesi, 2012 [18]

- *Geopolitici*: la maggior parte delle riserve di combustibili fossili si trovano in Stati geopoliticamente instabili.

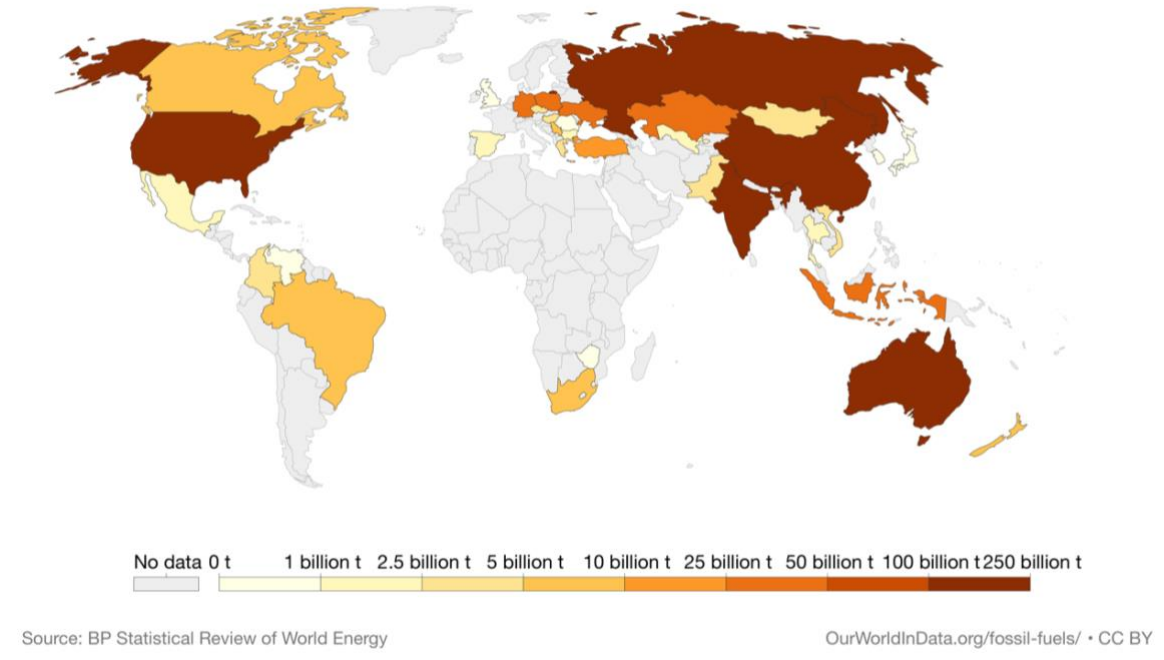


Figura 21 – Riserve di carbone nel mondo, 2020 [19]

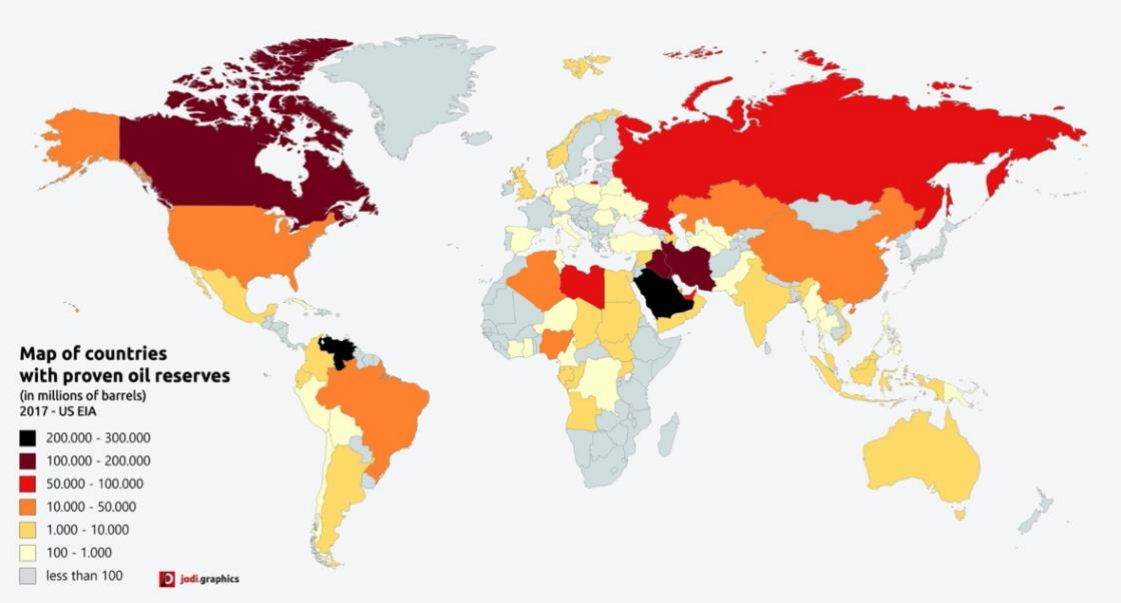


Figura 22 – Riserve di petrolio nel mondo, 2017[20]

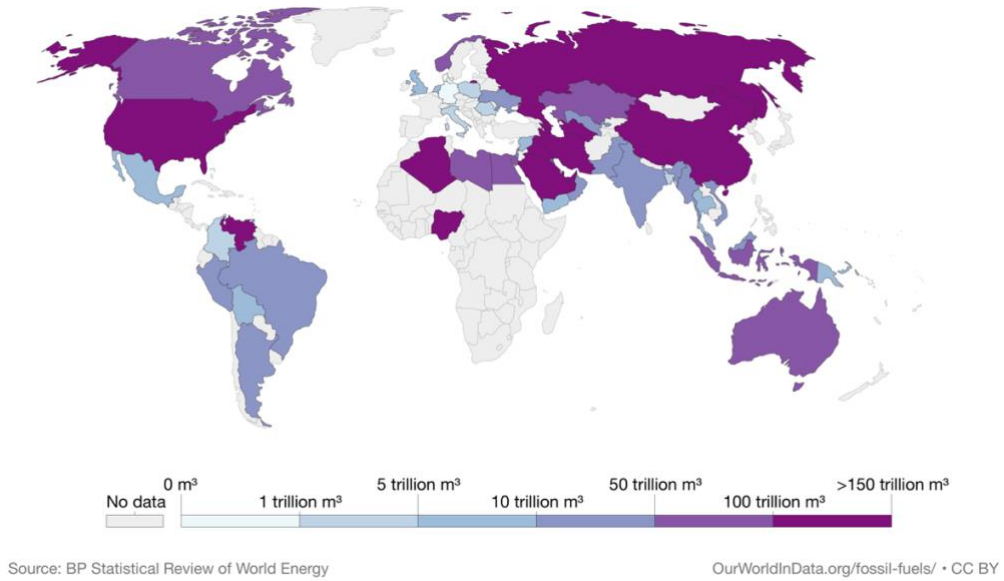


Figura 23 – Riserve di gas naturale nel mondo, 2019[19]

L'80% dell'energia deriva da combustibili fossili, rendendo molti Paesi del mondo dipendenti dall'estero per il proprio fabbisogno. L'Europa, che importa la metà dell'energia che consuma, è uno degli esempi più eclatanti.

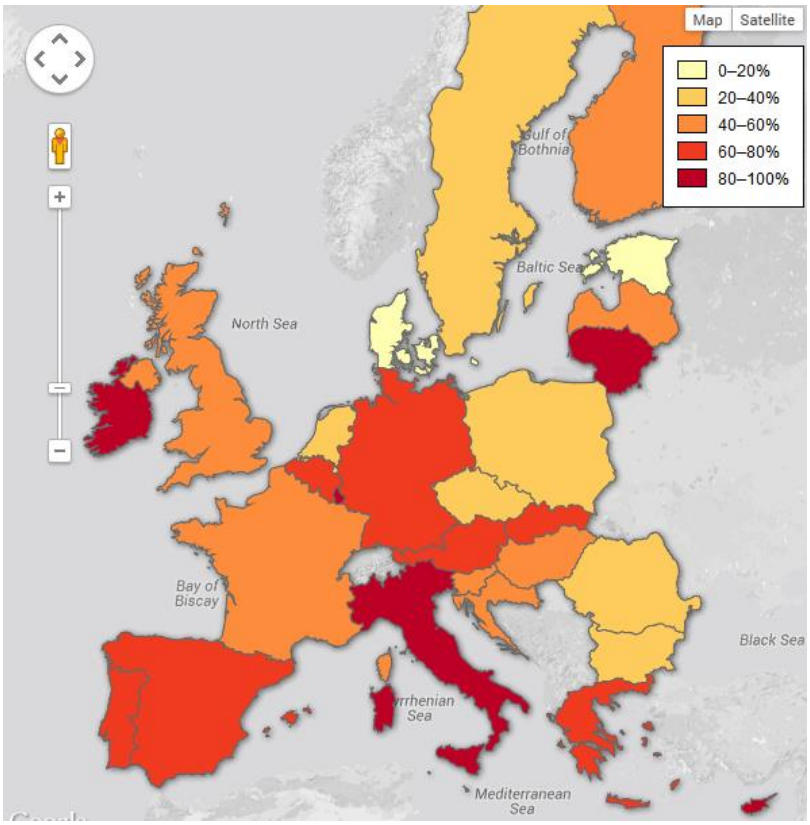


Figura 24 – Dipendenza energetica europea, 2014 [21]

- *Economici*: l'intensità energetica misura l'inefficienza energetica di un'economia e viene calcolata come il rapporto tra unità di energia e unità di PIL. Un valore elevato indica un alto costo per convertire l'energia in PIL. In molti Paesi il sistema

economico è basato su un settore industriale con un alto consumo di fonti fossili, in cui ogni unità di PIL arriva a richiedere grandi quantità di energia per essere prodotta.

Un maggiore utilizzo di energia comporta maggiori emissioni, causando una correlazione

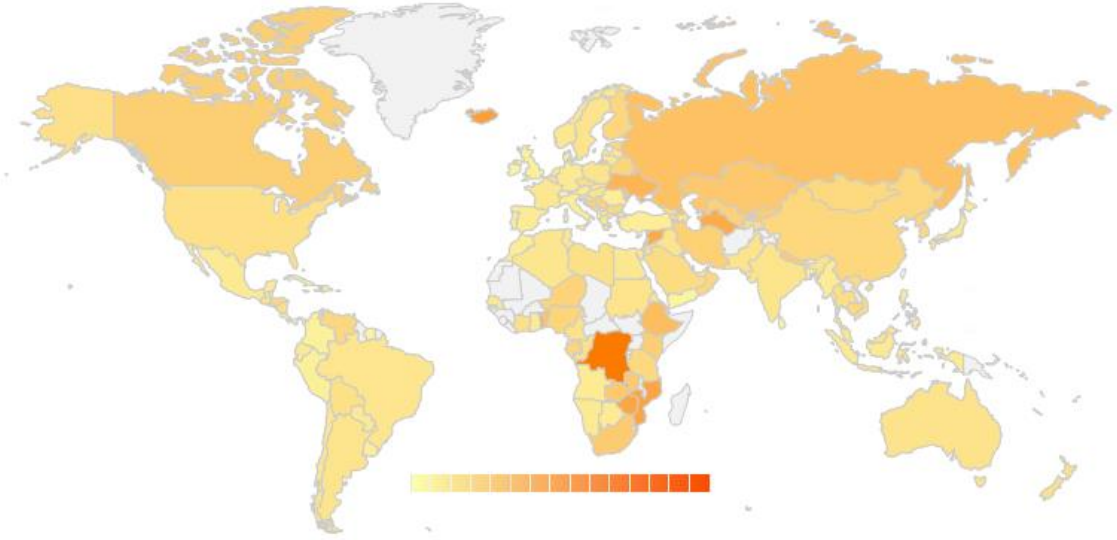


Figura 25 – Intensità energetica in termini di energia primaria sul PIL, 2017 [23]

tra gli indici di intensità energetica e di CO_2.

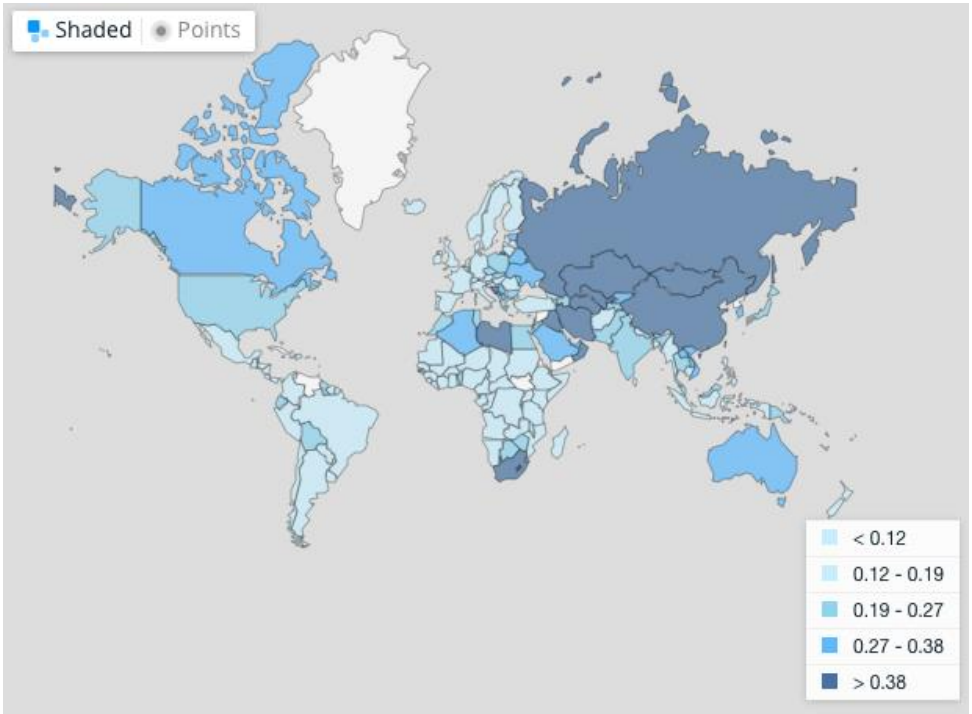


Figura 26 – Indice di emissione in termini di kg di CO2 su PPP $ di PIL [24]

Da tutte queste problematiche nasce la necessità di decarbonizzare l'economia e, in particolare, il settore energetico.

1.3.2 La transizione energetica

La transizione energetica è intesa come il cambiamento del sistema energetico, da una configurazione quasi interamente basata sui combustibili fossili ad una basata su fonti rinnovabili.
Da un punto di vista storico, le transizioni energetiche non sono concetti innovativi: in passato si sono verificati enormi cambiamenti nel sistema energetico, come il passaggio dall'utilizzo del legno al carbone nel XIX secolo e dal carbone al petrolio nel XX. L'urgenza con cui deve essere messa in atto differenzia la transizione energetica attuale da quelle passate.

La transizione energetica è un cambiamento di paradigma, che riguarda la sostituzione dei combustibili fossili con fonti rinnovabili, l'innovazione tecnologica, l'elettrificazione e la digitalizzazione. I benefici che ne derivano non riguardano solo il clima, ma anche la società e l'economia. Da un punto di vista ambientale, le risorse rinnovabili e la mobilità elettrica porteranno ad una riduzione dell'inquinamento. Per quanto riguarda la sostenibilità sociale, uno dei principi fondamentali su cui si basa la transizione è che deve rappresentare un cambiamento inclusivo, in cui nessuno deve essere lasciato indietro.

1.4 Scenari energetici futuri

In questo capitolo vengono esposti i principali risultati del report "Net Zero by 2050" redatto dall'IEA, che analizza la transizione energetica e gli scenari futuri.
Il Net-Zero Emissions Scenario (NZE) evidenzia i cambiamenti che dovranno essere apportati al settore energetico per far sì che le emissioni di CO_2 diventino praticamente nulle entro il 2050, riduzione in linea con l'Accordo di Parigi.
L'avverarsi dello scenario NZE dipende da una serie di fattori: dal ritmo in cui si riuscirà ad innovare e dalle nuove tecnologie, da quanto i cittadini saranno in grado e vorranno modificare il proprio comportamento, dalla presenza di bioenergia e dall'efficacia della collaborazione internazionale.

1.4.1 La popolazione e il PIL

La trasformazione del settore energetico avviene in un momento di grande crescita della popolazione e dell'economia. Nel 2020, la popolazione mondiale conta 7,8 miliardi di persone; nel 2030 crescerà di 750 milioni e nel 2050 di 2 miliardi. Quasi tutta la crescita demografica sarà localizzata nei mercati emergenti e nelle economie in via di sviluppo.

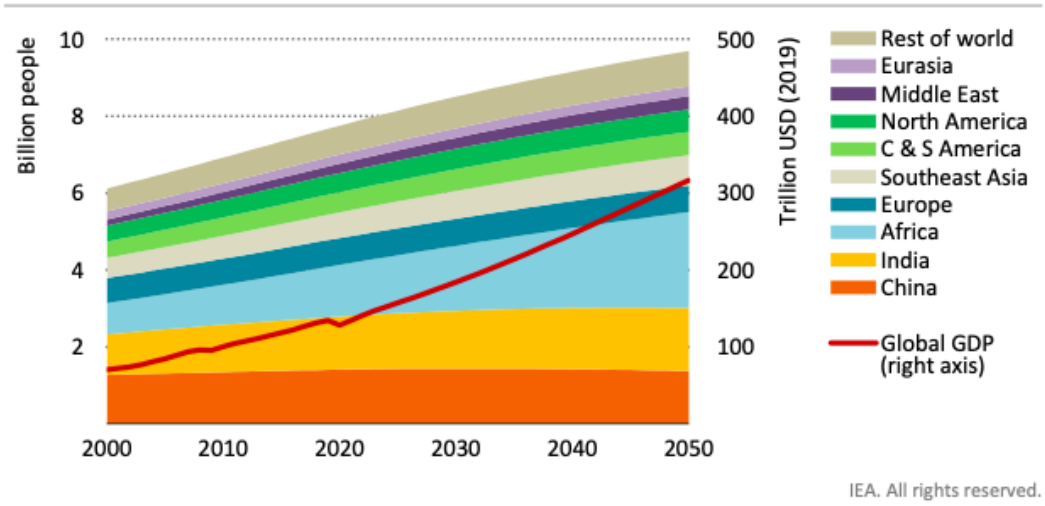


Figura 27 – Popolazione mondiale per regione e PIL mondiale nel NZE [26]

L'economia mondiale si riprenderà in fretta dagli impatti del Covid-19 e tornerà ai livelli pre-pandemia nel 2021, per poi riscontrare un aumento medio del PIL del 3% dal 2022. Nel 2030, l'economia globale sarà il 45% in più rispetto al 2020 e nel 2050 sarà più che il doppio.

1.4.2 Le emissioni di CO2

Le emissioni globali diminuiranno di anno in anno, arrivando a zero entro il 2050, mentre nelle economie sviluppate esse si annulleranno già nel 2045.

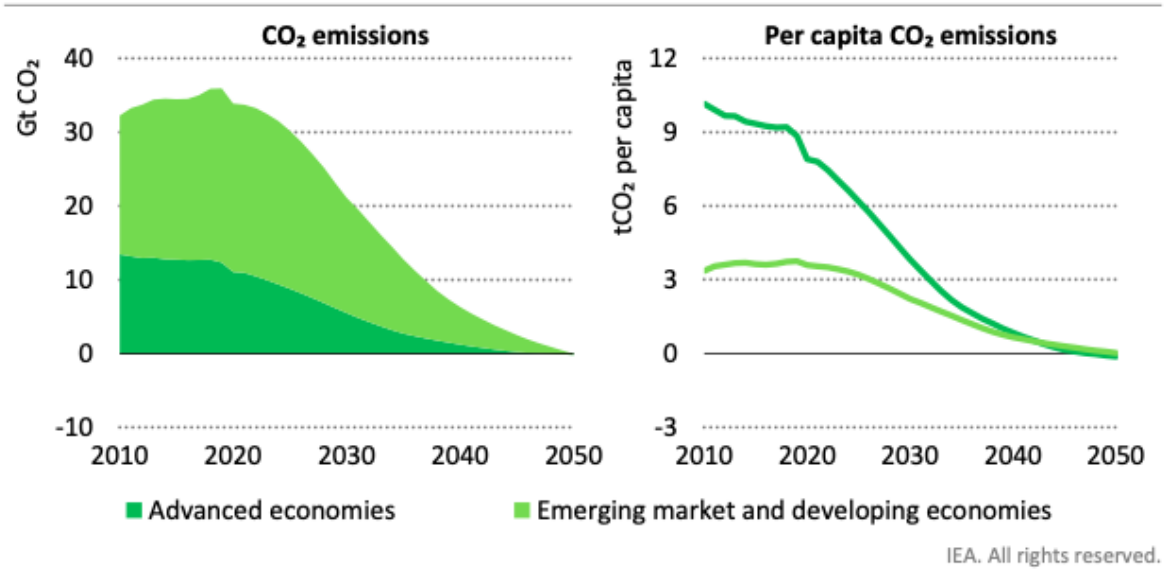


Figura 28 – Emissioni nette globali nel NZE [26]

Il settore che ha la riduzione più rapida nelle emissioni è quello energetico: esso passa dal rappresentare la maggiore fonte di emissioni nel 2020, a ridurre le proprie emissioni del 60% nel 2030, grazie alla chiusura degli impianti a carbone, ad essere nel 2040 una fonte negativa. Il settore edile riduce le emissioni del 40% entro il 2030, grazie alla sostituzione delle caldaie e ad un'azione di retrofit per aumentare l'efficienza.

Le emissioni dell'industria e dei trasporti vengono ridotte del 20% entro il 2030.

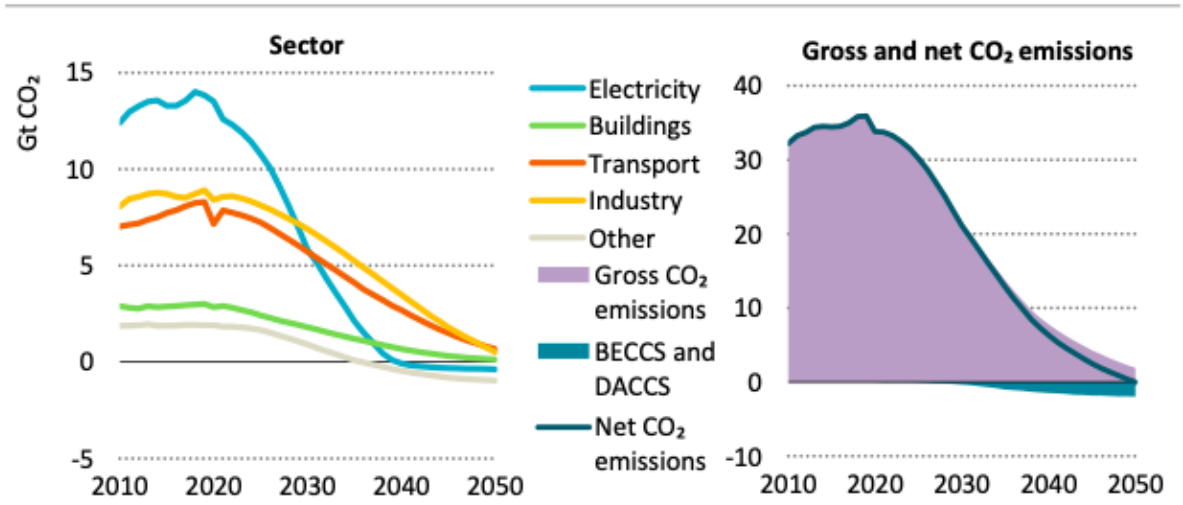


Figura 29 – Emissioni globali nette per settore e totali e nette [26]

1.4.3 Il mix energetico

La quantità totale di energia utilizzata sarà, nel 2030, 7% in meno che nel 2020, nonostante la crescita della popolazione, grazie alla diminuzione dell'intensità energetica. La tendenza continuerà fino al 2040, per poi mostrare una domanda costante fino al 2050. La quantità di energia utilizzata nel 2050 sarà simile al livello del 2010, nonostante un incremento di popolazione di circa 3 miliardi e un'economia tre volte più grande.
Le rinnovabili genereranno due terzi del totale, divise tra biomassa, eolico, solare, idroelettrico e geotermico. Il nucleare duplicherà l'energia generata tra il 2020 e il 2050, mentre l'uso dei combustibili fossili passerà dall'80% nel 2020 al 20% nel 2050.

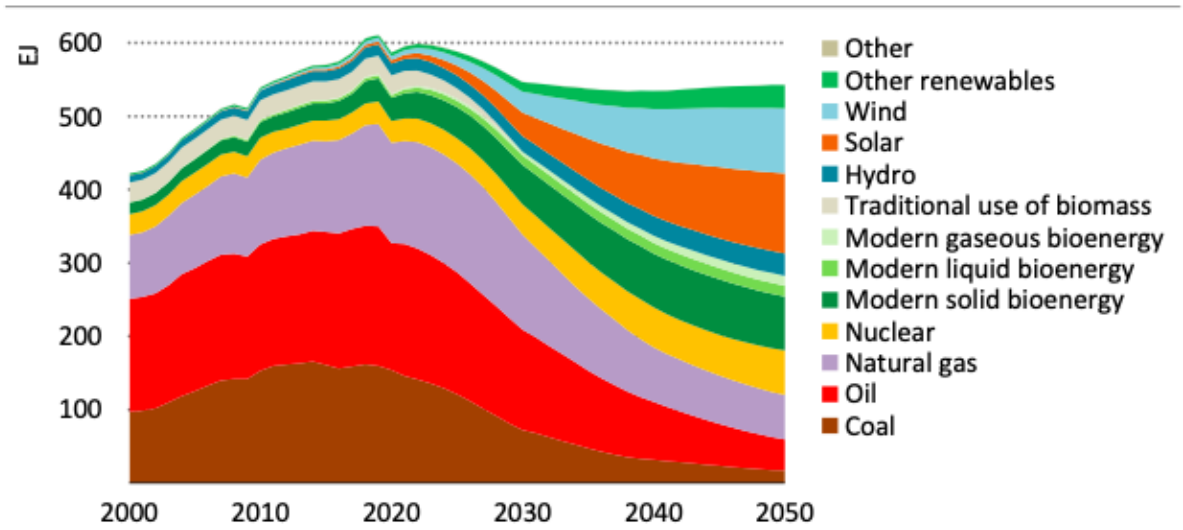


Figura 30 – Mix energetico nel NZE [26]

1.4.4 I pilastri della decarbonizzazione

Una rapida riduzione delle emissioni di CO_2 nei prossimi trent'anni può essere raggiunta con una serie di azioni quali il miglioramento dell'efficienza energetica, i cambiamenti

comportamentali, l'elettrificazione, le rinnovabili, l'idrogeno e i combustibili basati su di esso, la biomassa e CCUS (Carbon dioxide Capture & Utilization or Storage).

1) *L'efficienza energetica*
   La crescita della domanda energetica viene ridotta grazie al miglioramento dell'efficienza, che rappresenta la soluzione più efficace entro il 2030. Esso viene ottenuto, nel settore degli edifici, grazie ad un'azione di retrofit sugli edifici attuali, nei Paesi sviluppati, e alla sostituzione degli edifici nei Paesi in via di sviluppo; nel settore dei trasporti, grazie ad un rapido shift verso le auto elettriche, che passano dal rappresentare il 20% del totale nel 2030 al 60% nel 2040; nel settore industriale, migliorando i processi produttivi.

2) *Cambiamento comportamentale*
   La trasformazione del settore energetico predetta da NZE non può essere ottenuta senza una partecipazione attiva e voluta dei cittadini. Per cambiamento comportamentale si intende il cambiamento di comportamenti, che impattano sulla domanda di energia e sull'intensità energetica di un'attività. I tre principali cambiamenti sono la riduzione dell'eccessivo utilizzo di energia, la variazione nei mezzi di trasporto e il miglioramento dell'efficienza nei materiali.

3) *Elettrificazione*
   L'uso diretto di elettricità a basse emissioni al posto dei combustibili fossili è uno degli elementi più significativi e conta il 20% della riduzione totale richiesta entro il 2050.

4) *Rinnovabili*
   Le rinnovabili sono un elemento chiave per ridurre le emissioni. L'idroelettrico è stato una fonte a basse emissioni per molti decenni, ma è soprattutto la crescita di eolico e solare a triplicare la generazione da rinnovabili entro il 2030 e ottuplicarla per il 2050. La percentuale di rinnovabili nella generazione elettrica totale passa dal 29% nel 2020 a più del 60% nel 2030 a quasi il 90% nel 2050.

5) *Idrogeno e combustibili basati sull'idrogeno*
   L'utilizzo dell'idrogeno consiste nel convertire l'uso attuale di fonti fossili in idrogeno a basso carbone, in modo da non richiedere l'installazione di nuove linee di trasmissione e di distribuzione. L'idrogeno può essere utilizzato nelle industrie, nelle raffinerie e nelle centrali e distribuirlo ai consumatori in una miscela con il gas naturale.

6) *Bioenergia*
   La richiesta attuale di bioenergia è rappresentata per il 90% da biomassa solida, il 40% della quale viene utilizzata per cucinare, essendo però insostenibile, inefficiente e inquinante e causando ogni anno 2.5 milioni di morte premature. L'utilizzo della biomassa in questo campo calerà a zero entro il 2030.

Tutta la bioenergia nel 2050 viene da fonti sostenibili; la quantità utilizzata deve essere al di sotto del potenziale, in modo da proteggere la biodiversità, i sistemi di acqua dolce e la presenza di cibo.

7) *CCUS*
CCUS può abbassare le emissioni attuali di alcuni settori impegnativi, creando una via conveniente per generare l'idrogeno e consentendo la rimozione di CO2 dall'atmosfera.

2. LE COMUNITA' ENERGETICHE

Nella cornice della transizione energetica e della necessità di diffondere la generazione decentralizzata una delle possibili soluzioni sono le Comunità di Energia Rinnovabile (CER).

Le CER offrono l'opportunità ai cittadini di essere pienamente attivi nel panorama energetico, elemento di fondamentale importanza, tanto che si stima che per ottenere la riduzione delle emissioni di carbonio nel sistema energetico prevista per il 2050, 264 milioni di cittadini dell'Unione Europea dovranno unirsi al mercato energetico come prosumer, generando fino al 45% dell'energia elettrica da fonte rinnovabile. Si definisce prosumer un cittadino che non occupa solo il ruolo passivo del consumer (consumatore), ma partecipa attivamente alle diverse fasi del processo produttivo ed è colui, quindi, che possiede un proprio impianto di produzione e consuma una parte dell'energia che produce; la parte rimanente può essere immessa in rete o accumulata.
Uno dei modi in cui i cittadini possono diventare prosumer è entrare in una Comunità di Energia Rinnovabile e far parte di un gruppo di utenti, che, dopo aver aderito ad un contratto, collaborano per produrre, consumare e gestire l'energia generata da impianti in loco.
Il fondamento di una CER è, quindi, il decentramento e la localizzazione della produzione dell'energia: grazie alla partecipazione di cittadini, attività commerciali e imprese del territorio la comunità è in grado di produrre, consumare e scambiare energia in modo da autocondividerla virtualmente al di sotto della stessa cabina secondaria.
Per questi e altri motivi, le CER hanno ricevuto un crescente interesse nel corso degli anni e la loro presenza nel Clean Energy Package, redatto dalla Commissione Europea, conferma il ruolo prominente che ricopriranno nel futuro. La legislazione europea le definisce formalmente e le distingue in "Renewable Energy Communities" (Comunità di Energia Rinnovabile) e "Citizen Energy Communities" (Comunità Energetiche di Cittadini).

2.1 I benefici dell'introduzione delle comunità energetiche

Attualmente le CER ricoprono un piccolo ruolo nel panorama energetico, per cui la possibilità di definire i loro impatti e i benefici deriva principalmente dal lavoro scientifico in letteratura. Quelli che sono stati identificati sono:

1) ***Risparmio economico e benefici ambientali***
   Le CER favoriscono l'autoconsumo di energia realizzata da fonti rinnovabili, definito come il consumo in loco dell'energia prodotta da un impianto di generazione, che determina una serie di vantaggi ambientali ed economici.
   - *Risparmio in bolletta*: autoconsumare energia comporta un minore prelievo dalla rete, con una riduzione delle componenti variabili in bolletta, tra cui quota energia, oneri di rete e imposte. Nonostante la componente fissa rimanga costante, viene calcolato che se una famiglia installa un impianto fotovoltaico in grado di diminuire il proprio prelievo dalla rete del 30%, il risparmio in bolletta diventa del 25%.

- *Riduzione degli impatti ambientali*: l'energia prodotta da fonti rinnovabili non comporta l'emissione di gas serra, tanto che l'utilizzo di un impianto fotovoltaico da 3 kW con una produzione di 3300 kWh/anno evita la combustione di circa 4 barili di petrolio e la conseguente emissione di 1640 kg di CO_2 all'anno.
- *Valorizzazione dell'energia prodotta*: oltre ad un risparmio in bolletta, la vendita dell'energia non autoconsumata costituisce una fonte di guadagno.
- *Detrazioni fiscali*: in Italia, installare un impianto fotovoltaico sul proprio tetto rientra all'interno degli interventi di ristrutturazione edilizia sottoposti ad agevolazioni; è possibile, quindi, avere una detrazione delle imposte IRPEF del 50% delle spese sostenute, fino ad un ammontare di 96.000 euro in dieci rate annuali.

2) Contrasto alla povertà energetica

La povertà energetica è la condizione in cui o una parte eccessiva delle risorse del proprio reddito viene spesa per far fronte alle bollette energetiche o si presenta l'impossibilità di comprare i servizi energetici essenziali. Essa ha assunto sempre più importanza negli ultimi anni: nei Paesi in via di sviluppo si conta che circa ottocento milioni di persone non hanno accesso all'elettricità, mentre in Europa si stima che nel 2018 circa ottanta milioni di persone non si sono potute permettere di acquistare i beni energetici minimi, di cui quattro milioni solo in Italia.
Per cercare di ridurre la gravità di questa situazione, l'Organizzazione delle Nazioni Unite ha inserito nell'Agenda 2030 l'obiettivo 11 "Assicurare a tutti l'accesso a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni". Le CER possono essere sfruttate come strumento per mitigare la povertà energetica: in un'ottica in cui nel 2050 metà dei cittadini europei potrebbero autoprodursi la propria energia, esse darebbero a tutti la possibilità di avere accesso a buon mercato alle rinnovabili e ai conseguenti risparmi che derivano dal loro utilizzo. Inoltre, la realizzazione di una CER impone già di per sé la creazione di pratiche per la mitigazione della povertà energetica, in quanto, grazie all'utilizzo di strumenti per il monitoraggio dei consumi energetici e la loro ottimizzazione, i cittadini sono coinvolti in un processo di maggiore consapevolezza dei propri consumi.

3) Cambio di fonte di approvvigionamento e risparmio energetico

Grazie alla generazione di una CER, l'energia viene generata il loco tramite impianti rinnovabili, cosa che, anche se non determina direttamente una riduzione dei consumi, permette, da un lato, di cambiare fonte di approvvigionamento e ridurre il consumo di combustibili fossili, ottenendo un vantaggio ambientale per la comunità, e, dall'altro, di consumare nei pressi della produzione, evitando le perdite di trasmissione.
Inoltre, installare nuovi impianti rinnovabili al posto di vecchi impianti, spesso rappresenta un miglioramento nell'efficienza energetica della generazione.
I progetti comunitari possono inoltre essere vitali per stimolare la generazione rinnovabile: nel 2016 in Germania, il Paese leader negli investimenti realizzati da cittadini, i cittadini possedevano il 42% della capacità rinnovabile del Paese, banche,

fondi di investimenti e altri investitori l'altro 41.2%, mentre le più grandi utilities solo il 5.4%.

4) ***Creare un'economia collaborativa***

L'economia collaborativa, o sharing economy, è un modello economico basato sulla condivisione di beni e servizi ed è dei pilastri dell'economia circolare. La sharing economy si basa su una rete di individui che collaborano, condividono e scambiano beni e/o servizi attraverso una piattaforma di condivisione, che permette di collegare i fornitori con gli utenti e di creare transazioni tra di loro. Il bene può essere condiviso restando in possesso del proprietario, come in un ride sharing, oppure essere di proprietà di una parte terza rispetto agli utilizzatori, come in un car sharing, oppure cambiare proprietà, come nella vendita dei beni usati.
Nell'ambito delle comunità energetiche possono essere applicati i principi della sharing economy: in questo caso, il bene, cioè l'impianto di generazione, può essere di proprietà dell'intera comunità, di una parte dei membri o addirittura di parti terze. Questo nuovo paradigma può aiutare a gettate le basi per la creazione di nuove regole nella comunità che permettano più facilmente gli scambi di beni e servizi tra i membri che la costituiscono.

5) ***Implicazioni sociali***

La transizione verso un futuro a zero impatto sul clima non può essere raggiunta solo grazie alla tecnologia e al mercato finanziario, ma richiede una trasformazione sociale, in cui la società e i cittadini ricoprono un ruolo fondamentale. Le implicazioni sociali delle CER sono due: la possibilità di combinare il mutuo e il pubblico interesse e la generazione distribuita tramite fonti rinnovabili, in cui i cittadini operano per generare un bene comune.
In particolare, da un punto di vista sociale e tecnico, le CER possono portare i seguenti vantaggi:

- *Creare un valore locale*: possono aiutare a implementare progetti locali per raggiungere l'indipendenza energetica, ridurre le emissioni e la povertà di combustibili, contribuire all'economia locale e creare posti di lavoro;
- *Implementare la cittadinanza e la democrazia energetica*: i cittadini hanno un controllo democratico sugli investimenti energetici, essendo co-proprietari degli impianti rinnovabili. Solitamente, la proprietà permette di prendere parte alle decisioni riguardo gli investimenti e come il surplus viene ridistribuito;
- *Creare un ritorno finanziario per la comunità*: gli impianti rinnovabili creano dei ritorni all'interno della comunità, che possono aiutare ad implementare posti di lavoro;
- *Educazione e mobilitazione dei cittadini*: permettono ai cittadini di creare azioni collettive contro i cambiamenti climatici, al fianco di municipalità e autorità locali;
- *Coesione sociale*: viene creato un senso di comunità e di fiducia.

6) ***Impatti sul sistema energetico***
   Le Comunità di Energia Rinnovabile possono ricoprire un ruolo nel facilitare la decentralizzazione del sistema energetico e lo sfruttamento delle risorse rinnovabili locali. Al livello della rete di distribuzione, le CER possono migliorare la qualità del servizio riducendo le perdite di sistema e diminuire o posticipare gli investimenti nel network, migliorando la flessibilità e la capacità locale.

2.2 La cornice legislativa europea

Le direttive europee all'interno del pacchetto "Energia pulita per tutti gli europei" (CEP – Clean Energy Package) hanno l'obiettivo di creare il contesto giuridico adeguato a consentire la transizione energetica e di dare ai cittadini un ruolo in primo piano nel settore energetico. Due direttive sono particolarmente importanti per le comunità energetiche:

- la direttiva sulle energie rinnovabili, in cui sono riportate le definizioni di autoconsumo e di Comunità di Energia Rinnovabile (CER). L'obiettivo è rafforzare il ruolo degli autoconsumatori rinnovabili e delle CER. I Paesi europei dovranno quindi assicurare la loro partecipazione agli schemi di supporto presenti, con le stesse possibilità di entità più grandi.
- la direttiva sul mercato interno dell'energia elettrica, che identifica la Comunità Energetica dei Cittadini (CEC) e include le leggi per avviare l'attiva partecipazione dei consumatori, individualmente o attraverso le CEC, in tutti i mercati, generando, consumando, condividendo, vendendo energia o fornendo servizi di flessibilità attraverso il demand response o gli accumuli. La direttiva ha come obiettivo aumentare la diffusione delle comunità energetiche e rendere più semplice l'integrazione dei cittadini come partecipanti attivi del mercato elettrico.

Sebbene le due entità siano distinte e differenti tra di loro, entrambe vengono definite come "un soggetto giuridico" fondato sulla "partecipazione aperta e volontaria", il cui scopo prioritario non è la generazione di profitti finanziari, ma il raggiungimento di benefici ambientali, economici e sociali per i suoi membri, soci e il territorio in cui opera.

2.2.1 La Comunità Energetica dei Cittadini (CEC)

La direttiva (EU) 2019/944 del Parlamento e Consiglio Europeo del 5 giugno 2019, indica che *'citizens energy community' means a legal entity that: (a) is based on voluntary and open participation and is effectively controlled by members or shareholders that are natural persons, local authorities, including municipalities, or small enterprises; (b) has for its primary purpose to provide environmental, economic or social community benefits to its members or shareholders or to the local areas where it operates rather than to generate financial profits; and (c) may engage in generation, including from renewable sources, distribution, supply, consumption, aggregation, energy storage, energy efficiency services or charging services for electric vehicles or provide other energy services to its members or*

shareholders; (la Comunità Energetica dei Cittadini identifica un'entità giuridica che (a) è basata sulla partecipazione volontaria e aperta ed è effettivamente controllata dai membri o dalle parti interessate che siano persone naturali, autorità locali, includendo municipalità o piccole aziende; (b) ha come obiettivo primario creare benefici ambientali, economici o sociali ai suoi membri o alle parti interessate o all'area in cui opera al posto di generare profitti finanziari; e (c) può partecipare alla generazione, includendo le fonti rinnovabili, alla distribuzione, all'approvvigionamento, al consumo, all'aggregazione, all'accumulo, ai servizi di efficienza energetica o di ricarica per veicoli elettrici o provvedere ad altri servizi energetici per i suoi membri o parti interessate).

2.2.2 La Comunità di Energia Rinnovabile (CER)

La direttiva (EU) 2018/2001 del Parlamento e Consiglio Europeo dell'11 dicembre 2018, indica che '*renewable energy community' means a legal entity: (a) which, in accordance with the applicable national law, is based on open and voluntary participation, is autonomous, and is effectively controlled by shareholders or members that are located in the proximity of the renewable energy projects that are owned and developed by that legal entity; (b) the shareholders or members of which are natural persons, SMEs or local authorities, including municipalities; (c) the primary purpose of which is to provide environmental, economic or social community benefits for its shareholders or members or for the local areas where it operates, rather than financial profits*; (la Comunità di Energia Rinnovabile identifica una entità legale: (a) che, in accordo con le leggi nazionali applicabili, è basata su una partecipazione aperta e volontaria, è autonoma, e è effettivamente controllata dalle sue parti interessate o membri che sono collocati in prossimità del Progetto energetico che è posseduto e implementato da quell'entità legale; (b) le parti interessate o i membri sono persone naturali, PMI o autorità locali, includendo municipalità; (c) l'obiettivo primario è creare vantaggi ambientali, economici o sociali per le parti interessate o i membri o l'area in cui opera, al posto di profitti finanziari.

2.2.3 Confronto tra CER e CEC

Tabella 1 – Confronto tra CEC e CER

	CEC	CER
Appartenenza	Persone naturali, autorità locali, includendo le municipalità o piccole o microimprese	Persone naturali, autorità locali, includendo le municipalità o piccole o microimprese, premettendo che per le parti private la loro partecipazione non costituisca la loro attività principale
Limitazione geografica	Non ci sono limitazioni geografiche	Le parti interessate o i membri devono essere collocati in prossimità del progetto

		rinnovabile che è posseduto e implementato dalla CER
Attività permesse	Limitate alle attività rientranti nel settore elettrico: generazione di elettricità, distribuzione e fornitura, consumo, aggregazione, accumulo, servizi di efficienza energetica, generazione delle rinnovabili, servizi di ricarica per i veicoli elettrici o altri servizi energetici per le parti interessate o i membri	Può essere attiva in tutti i settori energetici: produzione, consumo e vendita di energia rinnovabile
Tecnologie	Tecnologicamente neutrale	Limitata alle tecnologie rinnovabili

In termini del trattamento regolativo, la differenza chiave tra le CEC e le CER sta nella natura delle Direttive in cui vengono identificate: mentre le CEC sono formalmente riconosciute come un attore del mercato nel "Electricity Market Directive", testo il cui obiettivo è quello di creare una parità di condizioni per loro nel mercato energetico, le CER emergono dal REDII, che porta avanti il progetto di promuovere l'energia dalle fonti rinnovabili.

2.3 Quadro normativo-regolatorio italiano e regole tecniche GSE

Ad oggi, l'Italia non ha promulgato la legge nazionale di recepimento per la Direttiva sulle energie rinnovabili, Direttiva UE 2018/2001, e per la Direttiva sul mercato interno dell'energia elettrica, Direttiva UE 2019/944, ma ha avviato una fase di sperimentazione sulla prima. La regolamentazione italiana che si riferisce all'autoconsumo e alle Comunità di Energia Rinnovabili consiste nell'articolo 42-bis del Decreto Milleproroghe, convertito in legge n. 8/2020 il 29 febbraio 2020, che cerca di permettere l'attuazione delle Direttive europee, oltre a incentivare e a consentire gli investimenti nel settore.

Definizione CER

La Comunità di Energia Rinnovabile è un soggetto giuridico:

- la cui partecipazione è aperta e volontaria;
- i cui punti di immissione e di prelievo sono collocati sulle reti di bassa tensione sottese alla medesima cabina di trasformazione media tensione/bassa tensione;
- i cui membri o azionisti sono persone fisiche, piccole o medie imprese, enti territoriali o autorità locali, comprese le amministrazioni comunali;
- il cui inserimento da parte di un membro non rappresenta l'attività commerciale o professionale principale;
- il cui obiettivo è fornire benefici ambientali, economici o sociali sia per la comunità che per i suoi membri;

- la cui partecipazione è aperta a tutti i consumatori collocati al di sotto della stessa cabina secondaria, includendo le famiglie a basso reddito o vulnerabili

Funzionamento

I soggetti partecipanti producono energia con impianti di potenza non superiore a 200 kW; essa viene condivisa tramite la rete di distribuzione esistente. L'energia autocondivisa virtuale viene calcolata come il minimo, in ogni ora, tra l'energia prodotta e immessa in rete e quella prelevata dall'insieme degli utenti. Viene conteggiata come energia autocondivisa virtuale anche quella immessa in un sistema di accumulo, a patto che rientri all'interno dei confini della CER.

Periodo di applicazione della misura

La misura vale per gli impianti di produzione o per porzioni degli impianti di produzione alimentati da fonti rinnovabili entrati in esercizio a partire dal 1° marzo 2020 ed entro i sessanta giorni successivi alla data di entrata in vigore del provvedimento di recepimento della direttiva (UE) 2018/2001.

Contributi economici

I contributi economici sono riconosciuti agli impianti della CER per la durata di 20 anni dalla prima data in cui si verifica l'autocondivisione dell'energia.
Per ciascun kWh di energia condivisa, vengono riconosciuti dal GSE:

- la somma della tariffa di trasmissione per le utenze in bassa tensione, pari a 7,61 €/MWh per il 2020 e 7.94 €/MWh per il 2021, e del valore più elevato della componente variabile di distribuzione per le utenze altri usi in bassa tensione, pari a 0,61 €/MWh nel 2020 e a 0,62 €/MWh per il 2021;
- una tariffa premio di 110 €/MWh.

È possibile richiedere il servizio di ritiro dell'energia immesso in rete, che viene attivato per tutti gli impianti che rientrano nella CER.

Detrazioni

Le detrazioni fiscali applicate al fotovoltaico sono del 50% e l'Ecobonus 110%.
La detrazione 50% è applicabile per gli utenti privati e consente di detrarre dall'Irpef il 50% dei costi di realizzazione in dieci anni, fino ad un massimo di 96.000€.
L'Ecobonus 110% consente di ridurre Irpef e Ires, in cinque quote annuali di pari importo, per i primi 20 kWp e con una spesa complessiva di 48.000€. Per accedere a questi benefici è necessario realizzare almeno uno dei seguenti interventi, che comportino un miglioramento dell'edificio di almeno due classi energetiche:

- Isolamento dell'involucro dell'edificio con un'incidenza superiore al 25% della superficie lorda;
- Sostituzione degli impianti di climatizzazione invernali esistenti nelle parti comuni con impianti centralizzati per il riscaldamento, il raffrescamento o la fornitura di

acqua calda sanitaria, a condensazione, almeno pari alla classe A, o la sostituzione di sistemi di riscaldamento autonomi per pompe di calore di alta efficienza;
- Riqualificazione antisismica.

Realizzando uno dei tre interventi e ottenendo un salto di almeno due classi energetiche è possibile accedere alla detrazione del 110%, che si applica anche agli interventi di:

- Installazione di un impianto fotovoltaico, fino a 20 kWp e con una spesa complessiva di 48.000€;
- Installazione di un sistema di accumulo correlato agli impianti fotovoltaici (1.000€/kWh) per un massimo di 48.000€;
- Installazione di colonnine di ricarica per auto elettriche.

Nel caso di una CER, la potenza dell'impianto fotovoltaico viene incrementata a 200 kW, ma la detrazione si applica solo alla spesa per la potenza massima di 20 kW; inoltre, i primi 20 kW di energia immessa in rete non vengono conteggiati nell'energia autocondivisa poiché, ricevendo le detrazioni, vengono ceduti al GSE.

Scambio sul posto

La creazione di una CER è alternativa allo Scambio sul Posto.

Requisiti per l'accesso al servizio

- *Contratto*: I rapporti tra i soggetti appartenenti alle configurazioni sono regolati da un contratto di diritto privato, che permette agli utenti di mantenere i diritti del cliente finale, compreso quello di scegliere il venditore, e di uscire in ogni momento dalla configurazione
- *Impianti di produzione:* "Gli impianti di produzione devono essere alimentati da fonti rinnovabili ed essere entrati in servizio a partire dal 1° marzo 2020 ed entro i 60 giorni dalla data di entrata in vigore del provvedimento di recepimento della direttiva (UE) 2018/2011". Per impianto di produzione si intende un impianto che produce energia elettrica da fonti rinnovabili, tra cui solare, eolico, aerotermico, geotermico, idrotermico, oceani. Gli impianti di produzione ibridi non possono accedere al servizio. Possono, invece, accedere al servizio impianti che producono energia elettrica tramite la combustione di fonti non rinnovabili, se la quota di energia elettrica prodotta da esse è, ogni anno, inferiore al 5%. Sono ammessi più impianti, che possono avere produttori diversi tra loro e non coincidenti con un cliente finale, la potenza massima non può superare i 200 kW. Sono ammessi gli impianti di nuova costruzione o il potenziamento di impianti esistenti, a patto che venga presa in considerazione la sola sezione di impianto aggiunta.
- Devono essere costituite da almeno due clienti finali, azionisti o membri della comunità, e un impianto di produzione.
- *Requisiti della comunità*: nelle Regole Tecniche del GSE viene indicato che la CER deve
    - "essere un soggetto giuridico autonomo che, agendo a proprio nome, possa esercitare diritti ed essere soggetto ad obblighi";

    - "avere come oggetto sociale prevalente (come riscontrabile dallo Statuto e/o dall'atto costitutivo) quello di fornire benefici ambientali, economici o sociali a livello di comunità ai propri azionisti o membri o alle aree locali in cui opera, piuttosto che profitti finanziari";
    - "avere uno Statuto o un atto costitutivo che prevedano:
        - una partecipazione alla comunità aperta e volontaria;
        - che la comunità sia autonoma ed effettivamente controllata dagli azionisti o membri facenti parte della configurazione";
    - "avere azionisti o membri che siano persone fisiche, piccole e medie imprese (PMI), enti territoriali o autorità locali, comprese le amministrazioni comunali, a condizione che, per le imprese private, la partecipazione alla comunità di energia rinnovabile non costituisca l'attività commerciale e/o industriale principale";
    - "essere proprietaria ovvero avere la piena disponibilità degli impianti di produzione appartenenti alla configurazione".
- *Requisiti dei soggetti che appartengono alla CER*: nelle Regole Tecniche del GSE viene specificato che i soggetti appartenenti alla CER devono:
    - "essere persone fisiche, piccole e medie imprese (PMI), enti territoriali o autorità locali, comprese le amministrazioni comunali";
    - "nel caso di imprese private, la partecipazione alla comunità di energia rinnovabile non deve costituire l'attività commerciale e/o industriale principale";
    - "essere titolari di punti di connessione ubicati su reti elettriche di bassa tensione sottese alla medesima cabina di trasformazione media/bassa tensione (medesima cabina secondaria)";
- *Requisiti dei punti di connessione*: i punti di connessione della CER devono essere sottesi alla stessa cabina secondaria.

Corrispettivi a copertura dei costi amministrativi

Viene dato un corrispettivo al GSE per la copertura dei costi amministrativi, composta da una quota fissa e una quota variabile con la potenza dell'impianto, da applicare binomiamente ad ogni singolo impianto.

Tabella 2 – Corrispettivi al GSE

Potenza [kW]	Corrispettivo fisso [€/anno]	Corrispettivo variabile [€/kW]
P<=3	0	0
3<P<=20	30,00	0
20<P<=200	30,00	1,00

Inoltre, si applica un contributo aggiuntivo di € 4,00/anno per ogni punto di connessione facente parte della configurazione.

Autoconsumatori di energia rinnovabile

L'autoconsumatore è un cliente finale che produce energia rinnovabile per il proprio consumo e può immagazzinare o vendere l'energia autoprodotta purchè ciò non costituisca la sua attività commerciale o professionale. L'impianto può essere di proprietà o gestito da un soggetto terzo, a patto che il soggetto segua le istruzioni dell'autoconsumatore.
L'autoconsumatore può realizzare una configurazione SEU o ASAP, dove:

- La configurazione SEU viene definita nelle "Regole applicative per la presentazione della richiesta e il conseguimento della qualifica di SEU e SEESEU per i Sistemi entrati in esercizio successivamente al 31/12/2014" come *"Sistema in cui uno o più impianti di produzione di energia elettrica alimentati da fonti rinnovabili ovvero in assetto cogenerativo ad alto rendimento, gestiti dal medesimo produttore, eventualmente diverso dal cliente finale, sono direttamente connessi, per il tramite di un collegamento privato senza obbligo di connessione di terzi, all'unità di consumo di un solo cliente finale (persona fisica o giuridica) e sono realizzati all'interno di un'area, senza soluzione di continuità, al netto di strade, strade ferrate, corsi d'acqua e laghi, di proprietà o nella piena disponibilità del medesimo cliente e da questi, in parte, messa a disposizione del produttore o dei proprietari dei relativi impianti di produzione"*.
- La configurazione ASAP viene definita, nel medesimo documento, come un sistema *"in cui una persona fisica o giuridica produce energia elettrica e, tramite collegamenti privati, la utilizza in misura non inferiore al 70% annuo per uso proprio ovvero per uso delle società controllate, della società controllante e delle società controllate dalla medesima controllante."*

2.4 Esempi virtuosi in Italia e in Europa

2.4.1 Brixton Energy, Regno Unito

Dal 2012, a Brixton nel Regno Unito, sono stati stabiliti tre impianti fotovoltaici sui tetti della comunità, per un totale di 50 MW, generando energia rinnovabile e portando ricavi economici nei quartieri in cui sono situati. Ogni progetto è gestito da una cooperativa, completamente posseduta dai suoi azionisti; la vendita delle azioni ha permesso di finanziare l'installazione dei pannelli.
Brixton Energy Solar 1 è stato completato nel 2012 e ha previsto l'installazione di 37 kW di fotovoltaico sul tetto di un edificio, realizzati tramite l'investimento di £60,000 di 103 investitori, la metà dei quali da Brixton. Brixton Solar 2 e Solar 3 sono i progetti che sono seguiti nel 2013. Molti sono i ritorni finanziari di questa attività: per la vendita dell'elettricità, in primo luogo, agli utenti negli edifici e successivamente alla rete nazionale, gli investitori ricevono un ritorno del 3% del loro investimento, mentre il 20% dei profitti viene devoluto al Community Energy Efficiency Fund e speso in una serie di iniziative per aumentare il risparmio energetico nell'area.

2.4.2 Edinburgh Community Solar Co-op, Regno Unito

In collaborazione con la città di Edinburgh è stato realizzato un progetto che consente di installare impianti fotovoltaici in 25 palazzi della città. I tetti sono stati scelti in base alla loro orientazione e alla loro funzione nella comunità, scegliendo in via preferenziale scuole e centri per la comunità. Sono stati invitati i residenti della città a finanziare il progetto. I profitti generati dalla cooperativa verranno utilizzati per rendere Edinburgh più pulita e più verde, mentre si allevia alla povertà di combustibile della città. Il fatto che gli impianti siano posseduti da persone del luogo assicura che più profitti rimarranno nell'economia locale e che più persone diverranno partecipi del problema del cambiamento climatico. Attualmente la cooperativa possiede e opera 24 impianti solari, con una capacità complessiva di 1,38 MW. Ogni anno produce approssimativamente 1,1 GWh di energia pulita e rinnovabile per gli edifici in cui si trovano i pannelli e per la rete. I profitti, dopo aver pagato un ritorno fisso per gli investitori, vengono investiti in progetti che promuovo la sostenibilità e le energie rinnovabili nella comunità.

2.4.3 Hvide Sande, Danimarca

Il progetto consiste in tre turbine eoliche in Danimarca. L'investitore paga al porto della città un affitto per il terreno e il suo profitto viene investito per co-finanziare il miglioramento del porto e per promuovere progetti di miglioramento dell'efficienza negli edifici e di mobilità elettrica. La clausola del rendere non-profit i guadagni è stata chiave nel persuadere la popolazione ad accettare il progetto. L'energia prodotta è circa 45,000 MWh all'anno e contribuisce a raggiungere l'obiettivo della città di diventare autosufficiente nell'energia rinnovabile. Le tre turbine hanno richiesto un investimento di €12.2 milioni, 20% dei quali sono stati pagati da 400 cooperative di cittadini.

2.4.4 Bioenergy Village Jühnde, Germania

Il sistema è in Germania e contiene un cogeneratore da 700 kW che sfrutta biogas e produce elettricità per la rete pubblica. Una caldaia a legno da 550 kW è utilizzata in inverno per fornire calore che circola attraverso il teleriscaldamento. Durante l'estate, il calore in eccesso dell'impianto di cogenerazione è utilizzato per rendere il legno da usare in estate in caldaia secco. L'obiettivo del progetto era di rendere il paese autonomo da un punto di vista energetico; attualmente gli impianti producono il 70% della richiesta di riscaldamento e il doppio di quella di elettricità. Gli impianti sono posseduti localmente e collettivamente dalle persone che abitano nella zona. I residenti possono comprare delle quote in compagnie cooperative; una volta diventati membri della cooperativa, sono in grado di comprare riscaldamento ed elettricità dalla compagnia diventando produttori dell'energia che consumano e, quindi, prosumers. Il risultato è una riduzione del 60% nelle emissioni di CO_2 per aver lasciato il riscaldamento a petrolio in favore di una fonte di energia confortevole, sicura e relativamente economica.

2.4.5 Jurascic, Francia

Il Francia, nella regione Bourgogne Franche-Comté, si è deciso di rendere la partecipazione ai finanziamenti dei progetti energetici una delle priorità. Il finanziamento e lo sviluppo dei

progetti rinnovabili è un elemento chiave per la regione: cittadini, parti interessate e la comunità devono supportarsi l'un l'altro per implementare la transizione energetica. La raccolta fondi permette ai cittadini di interessarsi direttamente e, investendo i loro risparmi, di contribuire allo sviluppo dell'economia locale. Jurascic aiuta ad organizzare gli investimenti dei cittadini e offre un alleato nel controllo dei progetti. Grazie a questo schema, è stato creato nella zona un parco eolico di 3 MW e una centrale fotovoltaica da 108 kWp.

2.4.6 Comunità energetica del Pinerolese, Piemonte

L'obiettivo è la creazione di una Comunità di Energia Rinnovabile tra diversi comuni della città metropolitana di Torino, che avevano già implementato la loro autosufficienza energetica, con il progetto "Oil Free Zones Territorio Sostenibile", arrivando al 42% e ora si vedono impegnati nel raggiungere il 100%. La comunità è costituita da enti pubblici e privati, come i comuni con i loro cittadini e da cinque aziende. Gli impianti previsti per coprire il fabbisogno della comunità sono 162, alcuni privati e alcuni pubblici. La produzione di energia elettrica da rinnovabili è di 16,9 GWh/anno, generate attraverso l'impianto idroelettrico di Inverso Pinasca da 450 kW, da un impianto cogenerativo di biogas, derivante dai rifiuti organici e da impianti fotovoltaici di proprietà pubblica e privata. Dal punto di vista termico, l'impianto di biogas è l'unico prosumer presente e produce 18,8 GWh/anno, suddivisi tra il proprio fabbisogno e il teleriscaldamento. Nonostante questo, il fabbisogno di energia termica coperto dalle rinnovabili è tra il 10% e il 24%.

2.4.7 Comunità energetica di Primero-Vanoi, Trentino-Alto Adige

Grazie alla partecipazione dei cittadini e dei comuni della Provincia di Trento è stata possibile la realizzazione della CER di Primero-Vanoi. Gli impianti utilizzati sono idroelettrici con accumuli, per una potenza complessiva di 90 MW e una produzione annua di 330 GWh, impianti a teleriscaldamento a biomassa legnosa, con una potenza termica di 35 MW ed elettrica di 1 MW, associati ad accumulatori termici di 18,6 MW, impianti fotovoltaici, con una potenza installata complessiva di oltre un MW, e un impianto di teleriscaldamento a biomassa ad uso comunale. Visto che il consumo elettrico del territorio è di 45 GWh/anno e la produzione di 330 GWh/anno, viene generato un surplus energetico significativo; oltre ai vantaggi economici, questo comporta anche benefici ambientali, come evitare l'emissione di 250.000 tonnellate di CO_2 e la combustione di 84.000 tonnellate di petrolio equivalente.

2.4.8 Comunità energetica di Roseto Valfortore, Puglia

Composta da cittadini prosumer, producer e consumer la comunità che verrà creata sarà in grado di autoconsumare tutta l'energia prodotta dalle fonti rinnovabili. Il progetto si compone di quattro fasi. La fase uno prevede il passaggio del maggior numero di utenze possibili da consumer a prosumer tramite l'installazione di impianti fotovoltaici; ogni impianto sarà dotato di uno smartmeter, uno strumento in grado di acquisire e inviare istantaneamente le grandezze elettriche, come tensione, corrente, potenza attiva e reattiva, e conoscere i propri consumi in tempo reale. In questo modo l'autoconsumo da fonti rinnovabili sarà portato al 35%. Nella fase due, verranno installati smartmeters presso i consumer e create nanogrids e sistemi di accumulo per ciascun prosumer, in modo da collegare la produzione al consumo.

L’autoconsumo diventerà il 75%. Nella fase tre, verranno creati gli impianti della comunità, cioè un parco eolico di 3 MW con una produzione di 7.500 MWh/anno collegato alla rete e le nanogrids e i sistemi di accumulo per i consumer. L’autoconsumo salirà al 100%. Nell’ultima fase, la CER verrà estesa a tutto il territorio comunale, collegando i nodi della rete virtualmente, in modo da registrare gli scambi di energia e di dialogare con il Trasmission System Operator.

2.4.9 Comunità energetica Alpina di Tirano, Lombardia

La comunità sarà composta dai comuni di Tirano e Sernio, che condivideranno le fonti rinnovabili già presenti, ottimizzando la produzione e il consumo. Il Comune di Tirano, che possiede già impianti a biomassa e l’idroelettrico, è in grado di essere autosufficiente per alcune ore della giornata e di condividere l’eccesso di energia con il Comune di Sernio. Per il fabbisogno termico, il teleriscaldamento del Comune di Tirano è già in grado di coprire l’80% della domanda e sta programmando un ampliamento; gli impianti connessi alla rete sono caldaie a biomassa. Grazie anche all’aggiunta dei prosumer privati con i loro impianti fotovoltaici, la comunità sarà in grado di soddisfare il consumo di energia termica ed elettrica.

2.4.10 Comunità energetica della Valle Susa, Piemonte

Il progetto coinvolge quasi tutti i Comuni della valle. Il primo passo consiste nel trasformare gli edifici pubblici in NZEB; successivamente, verranno create delle micro-reti di teleriscaldamento alimentate da impianti di biomassa e solari termici in grado di produrre 15 GWh/anno. Grazie a questi impianti la comunità sarà in grado di coprire la totalità dei fabbisogni termici degli edifici pubblici e di alcuni edifici privati nelle vicinanze. Verranno coibentati anche gli edifici residenziali alimentati a biomasse; i generatori verranno sostituiti con sistemi più efficienti, in modo da risparmiare il 50% dell’energia ed evitare l’emissione del 90% delle emissioni di PM_{10}, oltre a non utilizzare 21.000 tonnellate l’anno di legna. Inoltre, verranno creati impianti fotovoltaici, la cui energia sarà destinata all’autoconsumo e all’alimentazione di veicoli elettrici.

2.4.11 Comunità energetica agricola del Veneto, Veneto

La comunità è composta da circa 500 aziende, che si dividono tra prosumers, in grado di autoconsumare l’energia che producono e di cedere a terzi il surplus energetico, e consumers. Gli impianti, tutti fotovoltaici, generano circa otto milioni di kWh/anno, che in parte verranno dati alla comunità e in parte agli edifici dell’azienda Coldiretti Veneto. La società ForGreen, il partner tecnico del progetto, ritira l’energia non consumata e la rivende a Prezzo Zonale Orario senza oneri di sistema. Il fabbisogno energetico delle aziende presenti nella Comunità è soddisfatto. Oltre ai vantaggi economici, questa gestione permette di risparmiare l’emissione di circa 6.500 tonnellate di CO_2 l’anno e dà alle aziende la possibilità di migliorare la propria immagine, grazie al green marketing.

2.4.12 GECO, Green Energy Community, Emilia Romagna

Il progetto, che porterà alla generazione della prima comunità energetica dell'Emilia-Romagna, verrà sviluppato in un'area che comprende una zona residenziale di 7500 abitanti, una zona commerciale di 200.000 mq che ospita un parco agroalimentare, due centri commerciali e un'area industriale di oltre 1 milione di mq. Oltre agli impianti fotovoltaici già presenti, verranno installati altri rinnovabili, che collegati ad impianti di accumulo, saranno in grado di trasformare aziende e cittadini in prosumer. Il risultato sarà la produzione di 15,4 milioni di kWh/anno e un risparmio di 120 MWh/anno di energia, evitando di emettere 58.000 tonnellate di CO_2/anno.

2.4.13 PAN, Puglia Active Network, Puglia

Il progetto ha come obiettivo la realizzazione di una rete intelligente che si sviluppi in una zona ad alta disponibilità di fonti rinnovabili (sono connessi alla rete 2,5 GW di potenza). La rete sarà in grado di avere una gestione più efficiente e di migliorare la qualità del servizio. Inoltre, sono state introdotte delle colonnine di ricarica e una serie di dispositivi che consentono ai consumatori di visualizzare i dati del proprio consumo e assumere una maggiore consapevolezza del proprio comportamento energetico.

2.4.14 Smartgrid di Berchidda, Sardegna

Il progetto si basa sulla realizzazione di una smartgrid, che grazie alla presenza di smartmeters, sarà più efficiente della rete elettrica attuale. Inoltre, utilizzando sistemi di monitoraggio e automazione, sarà possibile incrementare la capacità di integrazione delle fonti rinnovabili, permettendo di collegare e gestire oltre 1700 impianti di consumo e di produzione. Si prevede di installare 200 nuovi impianti fotovoltaici, con una produzione di 3 GWh/anno, oltre a sistemi di accumulo concentrato per una potenza di 50 kW/50 kWh, in modo da portare la percentuale di autoconsumo locale al 50%. Saranno anche realizzati dei progetti piloti coinvolgendo cittadini che già possiedono impianti fotovoltaici con sistemi di accumulo di 10 kWh, in modo da sensibilizzare e promuovere l'autoconsumo locale. Il risultato atteso è il dimezzarsi delle spese energetiche comunali e la diminuzione del 30% del costo della bolletta dei cittadini.

2.4.15 Progetto BloRin, Sicilia

Il centro di questo progetto saranno le isole di Favignana e di Lampedusa. L'obiettivo è creare una piattaforma per la gestione della comunità solare e per aumentare l'interazione tra produttori e consumatori. La piattaforma, che utilizza la tecnologia Blockchain, permetterà di controllare attivamente i flussi di energia e di certificarli, in modo da generare i flussi economici associati. L'isola di Lampedusa realizzerà una micro-grid con impianti fotovoltaici e accumuli, che permetterà di gestire il profilo della domanda dei diversi clienti. La piattaforma permetterà di gestire gli scambi di energia: se l'utenza non è in grado di consumare energia potrà cederla alla rete o venderla ad un'altra utenza. L'isola di Favignana, inoltre, si avvarrà dei sistemi di ricarica dei veicoli elettrici con un sistema di ricarica bidirezionale, che permette di assorbire energia o di cederla a seconda delle necessità della rete.

2.4.16 Comunità energetica di Prato allo Stelvio, Bolzano

Il comune di Prato allo Stelvio punta all'autosufficienza energetica grazie ad un mix basato sulle fonti rinnovabili e alla gestione dell'energia prodotta. L'80% delle famiglie e delle aziende presenti sul territorio fa parte della cooperativa "Azienda Elettrica Prato". L'energia verrà generata attraverso 4 centrali a teleriscaldamento da biomassa, impianti solari termici, mini-idroelettrico; grazie anche alla presenza di una rete di teleriscaldamento di 24 km, il comune è autosufficiente e l'eccedenza di energia viene venduta alla rete nazionale. I ricavati vengono reinvestiti nell'economia locale e nello sviluppo della rete stessa, oltre che nella realizzazione di sistemi di accumulo accanto all'idroelettrico, per un ulteriore diminuzione della quota di energia persa. Tutto questo porta ad una mancata emissione di 10.000 tonnellate l'anno di CO_2 e un vantaggio economici per i soci di 1,1 milioni di euro, che se si aggiungono agli altri benefici indiretti, porta ad un valore complessivo di 2,2 milioni di euro.

3. FOGLI DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE DEI BENEFICI ECONOMICI-AMBIENTALI DI UNA COMUNITÀ ENERGETICA

3.1 Panoramica generale, obiettivi e risultati attesi

Il lavoro di tesi è stato finalizzato alla realizzazione di fogli di calcolo per la valutazione dei benefici economici-ambientali derivanti dall'istituzione di una comunità energetica rinnovabile (CER).

I fogli di calcolo sono stati creati su Excel e permettono di definire la configurazione della CER a partire dagli utenti che la compongono, dagli impianti presenti e dall'ubicazione e di analizzarla da un punto di vista energetico, ambientale ed economico. Ogni utente viene considerato nel dettaglio e ne vengono messi in luce le spese e i guadagni.
L'applicazione rappresenta uno strumento che vuole trovare la propria utilità nel quantificare i vantaggi della creazione di una Comunità, sia da un punto di vista generale che per i singoli utenti che la compongono, inserendosi nel contesto di sensibilizzazione verso la transizione energetica e la sostenibilità.

L'applicazione è stata costruita dando particolare rilievo a:

- **Semplicità di utilizzo.** I fogli di calcolo sono strutturati per essere il più possibile intuitivi per chi li utilizza e per avere pochi parametri in ingresso di facile reperibilità. Si ritiene che il software possa essere utilizzato anche da un pubblico non esperto nel settore energetico.
- **Chiarezza nei risultati.** Gli output più significativi sono stati raccolti in un unico foglio, che riassume in una serie di indicatori le prestazioni della comunità e dei suoi utenti.
- **Trasparenza.** Tutti i valori utilizzati per il calcolo degli output sono mostrati in modo esplicito, in modo che possano essere visionati e verificati. È anche possibile analizzare le curve di orarie di carico, di produzione e degli incentivi.
- **Affidabilità.** La semplicità della piattaforma è stata coniugata con l'affidabilità dei risultati, che si è cercato di mantenere il più possibile vicini a quelli reali. Molta attenzione è stata data alla creazione delle curve di carico, dai cui valori orari dipendono gli output.

È in italiano e pensata per l'analisi di una Comunità in Italia.

Il risultato della simulazione è la generazione di una serie indicatori, energetici, ambientali ed economici, che analizzano la comunità e gli utenti che ne fanno parte. I valori in output dipendono dalla configurazione scelta, dall'ubicazione, dalla percentuale di suddivisione degli incentivi erogati dal GSE e dalla spesa per l'utilizzo della piattaforma.

Le tecnologie rinnovabili considerate sono il fotovoltaico e la pompa di calore.
Un'implementazione futura potrebbe prevedere lo sfruttamento di altre risorse.

L'applicazione si compone principalmente di tre fogli di calcolo.
Nel primo, "Analisi Energetica", viene definita la configurazione della Comunità da parte dell'utente.
I carichi sono stati suddivisi in tre categorie, residenziale, commerciale ed industriale; per ognuna di esse, sono evidenziati gli indicatori che permettono di adattare la curva di carico e renderla il più possibile vicina alla realtà. Sono presenti quaranta profili di carico residenziali, sei commerciali e tre industriali, tra cui si può scegliere indicando se sono attivi (1) oppure no (0). Ogni carico viene caratterizzato a seconda della categoria di appartenenza: per gli utenti residenziali, gli input da inserire riguardano la presenza di apparecchiature, la locazione, la grandezza e la configurazione dell'abitazione; per gli utenti commerciali, l'area del locale o il fabbisogno annuale di energia elettrica; per gli utenti industriali, la potenza di picco.
Ad ogni carico può essere associato un impianto fotovoltaico (1) oppure no (0). Per ogni impianto fotovoltaico viene richiesto di specificare la potenza installata, la percentuale di possesso e la presenza autoconsumo reale, cioè la possibilità di autoconsumare l'energia prodotta. La normativa attuale consente di autoconsumare l'energia solo se è verificata una relazione "uno a uno" tra impianto e utenza; per questo motivo, gli unici utenti che sono abilitati a realizzare autoconsumo reale sono quelli che abitano in una villa e hanno un possesso del 100% dell'impianto. La curva di produzione viene modificata in funzione della potenza dell'impianto e della locazione della Comunità, tenendo conto della producibilità media solare al Nord, Centro e Sud Italia.

		CONSUMI																	
	DESCRIZIONE	ATTIVO (1/0)	CONDIZIONATORE (1/0)	LAVASTOVIGLIE (1/0)	POMPA DI CALORE (1/0)	VILLA MONOFAMILIARE (1/0)	VILLA MULTIFAMILIARE (1/0)	APP IN ED <10 APP (1/0)	APP IN ED >10 APP (1/0)	AREA APP [m2]	CENTRO AREA METROPOLITANA (1/0)	PERIFERIA AREA METROPOLITANA (1/0)	MUNICIPALITA' <50000 AB (1/0)	NORD-OVEST (1/0)	NORD-EST (1/0)	CENTRO (1/0)	SUD (1/0)	SICILIA (1/0)	SARDEGNA (1/0)
DOMESTICO	donna nubile che lavora,<30	1	1	1	0				1	50	1	0	0	1					
	donna nubile disoccupata, <30	1	1	1	0			1		60	1	0	0	1					
	uomo celibe che lavora, <30	1	1					1		80	1	0	0	1					
	uomo celibe disoccupato, <30	1	1	1					1	40	1	0	0	1					
	donna sola che lavora, 30-64	1	1	1	1		1			90	1	0	0	1					
	donna sola disoccupata, 30-64	1		1				1		50	1	0	0	1					
	uomo solo che lavora, 30-64	1	1						1	65	1	0	0	1					
	uomo solo disoccupato, 30-64	1						1		35	1	0	0	1					
	uomo celibe, 30-64, lavoro a turni	0	1	1				1		100	1	0	0	1					
	uomo solo, >65	1	1	1	0	1				100	1	0	0	1					
	donna sol, >65	1	1	1				1		100	1	0	0	1					
	studente	1		1					1	25	1	0	0	1					
	studente con lavoro	1	1	1				1		40	1	0	0	1					
	coppia, <30 , entrambi lavorano	1	1					1		80	1	0	0	1					
	coppia, <30 , uno lavora	1	1		1		1			90	1	0	0	1					
	coppia, <30 , entrambi disoccupati	1	1	1					1	60	1	0	0	1					
	coppia 30-64, entrambi lavorano	1	1	1				1		100	1	0	0	1					
	coppua, 30-64, entrambi lavorano, con domestica	1	1	1		1				130	1	0	0	1					
	coppia, 30-64, entrambi lavoro a turno	1		1				1		85	1	0	0	1					
	coppia 30-64, 1 lavora, 1 a casa	0	1	1					1	200	1	0	0	1					
	coppia 30-64, entrambi disoccupati	1					1			90	1	0	0	1					
	coppia, >65	1	1	1	1		1			140	1	0	0	1					
	madre sola che lavora, 1 figlio	1	1	1				1		80	1	0	0	1					
	madre sola disoccupata, 1 figlio	1		1				1		75	1	0	0	1					
	padre solo che lavora, 1 figlio	0	1	1				1		60	1	0	0	1					
	madre sola che lavora, 2 figli	0	1	1				1		80	1	0	0	1					
	madre sola disoccupata, 2 figli	1	1	1	1	1				130	1	0	0	1					
	padre solo che lavora, 2 figli	1	1					1		90	1	0	0	1					
	famiglia 1 bambino, entrambi lavorano	1		1					1	115	1	0	0	1					
	famiglia 1 bambino, un genitore lavora	0	1	1				1		100	1	0	0	1					
	famiglia 1 bambino, entrambi disoccupati	1							1	85	1	0	0	1					
	3 adulti: coppia, 30-64, entrambi lavorano + persona anziana	1	1	1				1		150	1	0	0	1					
	famiglia con due figli, genitori lavorano	0	1	1	1		1			130	1	0	0	1					
	famiglia con due figli, un genitore lavora	1		1				1		90	1	0	0	1					
	famiglia con due figli, genitori disoccupati	1	1					1		70	1	0	0	1					
	madre sola disoccupata, 3 figli	1	1	1					1	100	1	0	0	1					
	famiglia con 3 figli, entrambi I genitori lavorano	1	1	1		1				150	1	0	0	1					
	famiglia 3 figli, un genitore lavora a	1						1		85	1	0	0	1					
	famiglia allargata: coppia, entrambi lavorano, 2 figli, 2 persone anziane	1	1	1				1		150	1	0	0	1					

Figura 31 - "Analisi Energetica": Definizione dei consumi nella categoria carico domestico

		CONSUMI		PRODUZIONE			
COMMERCIALE	DESCRIZIONE	ATTIVO (1/0)	AREA [m2] / FABBISOGNO ANNUALE ELETTRICITA' [kWh/a] (per hotel)	PV (1/0)	POTENZA INSTALLATA [kW]	AUTOCONSUMO REALE (1/0)	PERCENTUALE PROPRIETA' [%]
	edificio per uffici	1	300	0	20	1	100%
	attività commerciale WD 8-18	1	200	0	20	1	100%
	attività commerciale tutti I giorni della settimana, ore serali	1	200	1	20	1	100%
	attività commerciale WD + attività nel WE	1	200	1	20	0	50%
	attività commerciale WD + WE orario continuato	0	200	1	20	0	50%
	Albergo aperto tutto l'anno con chiusura a novembre	1	20000	1	40	1	100%
	Albergo stagionale	1	30000	1	50	0	100%
		CONSUMI		PRODUZIONE			
INDUSTRIALE	DESCRIZIONE	ATTIVO (1/0)	POTENZA DI PICCO [kWp]	PV (1/0)	POTENZA INSTALLATA [kW]	AUTOCONSUMO REALE (1/0)	PERCENTUALE PROPRIETA' [%]
	azienda dolciaria	1	90	0	50	0	100%
	azienda lavorazioni metalliche	1	98	1	200	1	100%
	spumantificio	0	87	1	150	0	80%

Figura 32 - "Analisi Energetica": Categoria carico commerciale e industriale

A lato della tabella degli input, sono posizionate le curve orarie, che analizzano, per un anno e per ogni membro della comunità, i valori orari di energia elettrica consumata, prodotta, autoconsumata, prelevata ed immessa in rete in Wh. La presenza dei valori che vanno a realizzare le curve permette all'utenze di analizzare l'andamento dei carichi e della produzione e di verificare la loro affidabilità.

Data	1 - Consumo [Wh]	1 - produzione [Wh]	1 - autoconsumo [Wh]	1 - E prelevata dalla rete [Wh]	1 - E inserita in rete [Wh]
01.01. 00:00	0,98142	0	0	0,98142	0
01.01. 01:00	0,98142	0	0	0,98142	0
01.01. 02:00	0,98142	0	0	0,98142	0
01.01. 03:00	86,0973	0	0	86,0973	0
01.01. 04:00	0,98142	0	0	0,98142	0
01.01. 05:00	141,8598	0	0	141,8598	0
01.01. 06:00	40,86276	0	0	40,86276	0
01.01. 07:00	369,3708	0	0	369,3708	0
01.01. 08:00	116,8782	0	0	116,8782	0
01.01. 09:00	0,98142	0	0	0,98142	0
01.01. 10:00	0,98142	0	0	0,98142	0
01.01. 11:00	0,98142	0	0	0,98142	0
01.01. 12:00	0,98142	0	0	0,98142	0
01.01. 13:00	84,66978	0	0	84,66978	0
01.01. 14:00	0,98142	0	0	0,98142	0
01.01. 15:00	0,98142	0	0	0,98142	0
01.01. 16:00	0,98142	0	0	0,98142	0
01.01. 17:00	59,24208	0	0	59,24208	0
01.01. 18:00	233,7564	0	0	233,7564	0
01.01. 19:00	115,0938	0	0	115,0938	0
01.01. 20:00	115,986	0	0	115,986	0
01.01. 21:00	115,986	0	0	115,986	0
01.01. 22:00	84,84822	0	0	84,84822	0
01.01. 23:00	85,56198	0	0	85,56198	0

Figura 33 – "Analisi Energetica": Esempio di curve orarie per il primo giorno dell'anno per il primo utente

Il secondo foglio di calcolo, "Autoconsumo Virtuale", si focalizza sull'energia autoconsumata virtuale e sulla quota di incentivi per la comunità. L'utente può scegliere come modificare la percentuale di suddivisione degli incentivi tra consumatori e produttori, inizialmente fissata a 20%-80%, in modo da ripagare i secondi della quota di investimento iniziale. Vengono inoltre indicati i fattori che sono utilizzati per il calcolo degli incentivi, in modo da permettere di verificare la veridicità dei risultati ottenuti.

REGOLE INCENTIVI	Per la creazione della comunità	110	[euro/MWh]
	Tariffa di distribuzione	7,94	[euro/MWh]
	Tariffa di trasmissione	0,62	[euro/MWh]
INCENTIVI TOTALI COMUNITA'		31.347,90	[euro/anno]
DIVISIONE INCENTIVI	CONSUMATORI	20%	
	PRODUTTORI	80%	
INCENTIVI TOTALI	CONSUMATORI	6.269,58	[euro/anno]
	PRODUTTORI	25.078,32	[euro/anno]

Figura 34 - "Autoconsumo Virtuale": Tabella riassuntiva

Le curve orarie dell'energia prelevata ed immessa in rete dalla comunità vengono presentate e utilizzate per calcolare l'energia autoconsumata virtuale, cioè il minimo tra consumo e produzione in ogni ora. L'energia autoconsumata virtuale viene poi moltiplicata per i fattori che compongono gli incentivi per ottenere il valore orario dell'incentivo della comunità, in totale e suddiviso tra consumatori e produttori.

Data	E prelevata dalla rete comunità [Wh]	E inserita in rete comunità [Wh]	Autoconsumo virtuale comunità [Wh]	Incentivo totale comunità [euro]	Incentivi totali consumatori [euro]	Incentivi totali produttori [euro]
01.01. 00:00	29831,04886	0	0	0	0	0
01.01. 01:00	29772,47363	0	0	0	0	0
01.01. 02:00	30482,16088	0	0	0	0	0
01.01. 03:00	29471,86237	0	0	0	0	0
01.01. 04:00	27360,12795	0	0	0	0	0
01.01. 05:00	32317,17077	0	0	0	0	0
01.01. 06:00	38481,51304	0	0	0	0	0
01.01. 07:00	43319,21833	0	0	0	0	0
01.01. 08:00	31499,65694	104107,6219	31499,65694	3,734599327	0,746919865	2,987679461
01.01. 09:00	34938,65087	248959,5765	34938,65087	4,142326447	0,828465289	3,313861158
01.01. 10:00	85353,52265	360152,5974	85353,52265	10,11951365	2,023902729	8,095610917
01.01. 11:00	44359,37083	396233,2104	44359,37083	5,259247006	1,051849401	4,207397604
01.01. 12:00	47117,90961	417568,8537	47117,90961	5,586299363	1,117259873	4,46903949
01.01. 13:00	39097,079	403670,8366	39097,079	4,635349686	0,927069937	3,708279749
01.01. 14:00	50834,80576	336144,7109	50834,80576	6,02697457	1,205394914	4,821579656
01.01. 15:00	52371,27238	232367,3095	52371,27238	6,209138054	1,241827611	4,967310443
01.01. 16:00	57365,42156	0	0	0	0	0
01.01. 17:00	49033,67971	0	0	0	0	0
01.01. 18:00	52864,10523	0	0	0	0	0
01.01. 19:00	50785,65571	0	0	0	0	0
01.01. 20:00	44820,46854	0	0	0	0	0
01.01. 21:00	46844,41433	0	0	0	0	0
01.01. 22:00	36660,44193	0	0	0	0	0
01.01. 23:00	31929,17845	0	0	0	0	0

Figura 35 -"Autoconsumo Virtuale": Esempio delle curve orarie per il calcolo degli incentivi

Per ogni utente, gli incentivi vengono calcolati proporzionalmente all'energia che viene consumata o prodotta ogni ora rispetto al valore dell'intera comunità. Anche in questo caso, i valori orari vengono presentati, suddivisi in incentivi per il consumo e per la produzione.

Data	1 - Incentivi consumo [euro]	2 - Incentivi consumo [euro]	3 - Incentivi consumo [euro]	4 - Incentivi consumo [euro]	5 - Incentivi consumo [euro]	1 - Incentivi produzione [euro]	2 - Incentivi produzione [euro]	3 - Incentivi produzione [euro]	4 - Incentivi produzione [euro]	5 - Incentivi produzione [euro]
01.01. 00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01. 01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01. 02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01. 03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01. 04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01. 05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01. 06:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01. 07:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01. 08:00	0,0027714	0,0044771	0,0028952	0,0013777	0	0	0,0288429	0,0288429	0	0,0023924
01.01. 09:00	2,327E-05	0,0008142	0,0006464	0	0	0	0,0306495	0,0306495	0	0,0080887
01.01. 10:00	2,327E-05	0,0010253	0,0002446	0	0	0	0,0742435	0,0742435	0	0,0215088
01.01. 11:00	2,327E-05	0,0016702	0,0002446	0,0009582	0	0	0,0385032	0,0385032	0	0,0107493
01.01. 12:00	2,327E-05	0,0004222	0,0002671	0,0020542	0	0	0,0409725	0,0409725	0	0,0111445
01.01. 13:00	0,0020077	0,0020112	0,0028279	0,0044005	0	0	0,0341362	0,0341362	0	0,0077669
01.01. 14:00	2,327E-05	0,0012411	0,0002446	0,0002488	0	0	0,0445496	0,0445496	0	0,0110163
01.01. 15:00	2,327E-05	0,0008606	0,0002446	0	0	0	0,0462673	0,0462673	0	0,0111375
01.01. 16:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01. 17:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01. 18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01. 19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01. 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01. 21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01. 22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.01. 23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 36 – "Autoconsumo virtuale": Esempio di curve orarie degli incentivi per i primi cinque utenti

Il terzo foglio di calcolo, "Output", riassume i risultati utili ad avere una visione globale della comunità e dei suoi utenti. In particolare, gli indicatori presenti sono:

- ENERGETICI
  - Consumo di energia elettrica in kWh/anno;
  - Produzione fotovoltaica in kWh/anno;
  - Autoconsumo reale in kWh/anno;
  - Energia prelevata dalla rete in kWh/anno;
  - Energia immessa in rete in kWh/anno;
  - Autoconsumo virtuale in kWh/anno.
- AMBIENTALI
  - Mancata emissione di CO2 in ton/anno.
- ECONOMICI
  - Stima della spesa di energia elettrica acquistata dalla rete in euro/anno;
  - Stima del risparmio per mancato acquisto di energia elettrica dalla rete in euro/anno;
  - Stima dei ricavi per la vendita di energia elettrica alla rete in euro/anno;
  - Stima degli incentivi per il consumo in euro/anno;
  - Stima degli incentivi per la produzione in euro/anno;
  - Percentuale degli incentivi ricevuti.

L’autoconsumo reale è ottenuto, se presente, come il minimo tra consumo e produzione per ogni ora in un anno. L’energia prelevata dalla rete è pari alla quota di consumo a cui viene tolto l’autoconsumo reale, mentre l’energia immessa in rete è pari alla produzione sottratto la quota autoconsumata. L’energia autoconsumata virtuale è il minimo in ogni ora tra l’energia prelevata e quella immessa in rete dall’intera comunità.
La mancata emissione di CO2 viene calcolata moltiplicando l’energia prodotta da ogni impianto per il valore medio in Italia di grammi di CO2 emessi ogni kWh di energia elettrica immessa in rete, valore che dipende dal mix energetico.
La spesa per l’acquisto dell’energia elettrica dalla rete viene ottenuta sommando la quota fissa, il prodotto tra la quota variabile e l’energia prelevata dalla rete, quello tra la quota di potenza e la potenza di picco, quello tra la quota delle perdite e le perdite stesse e quello tra la quota di dispacciamento e la somma tra le perdite e l’energia prelevata dalla rete.
Il risparmio per mancato acquisto dalla rete si verifica nel caso di autoconsumo reale, quando l’energia prodotta dall’impianto può essere direttamente assorbita dal carico e coprire parte dei consumi. Si evita così di prelevare parte dell’energia dalla rete e di pagare la conseguente quota variabile, delle perdite e di dispacciamento.
I ricavi dalla vendita di energia alla rete si ottengono moltiplicando l’energia immessa per un valore medio del prezzo dell’energia per il Ritiro Dedicato nel 2019.
Per ogni utente è presente il prospetto della quota di incentivi di consumo e di produzione e la percentuale rispetto al totale.

			PRODUZIONE			
	NOME UTENTE	DESCRIZIONE	PV (1/0)	POTENZA INSTALLATA [kW]	AUTOCONSUMO REALE (1/0)	PERCENTUALE PROPRIETA' [%]
	1	donna nubile che lavora,<30	-	10,0	-	50%
	2	donna nubile disoccupata, <30	1	20,0	-	25%
	3	uomo celibe che lavora, <30	1	20,0	-	25%
	4	uomo celibe disoccupato, <30	-	25,0	-	20%
	5	donna sola che lavora, 30-64	1	1,5	1	100%
	6	donna sola disoccupata, 30-64	1	20,0	-	30%
	7	uomo solo che lavora, 30-64	-	10,0	-	50%
	8	uomo solo disoccupato, 30-64	1	10,0	-	25%
	9	uomo celibe, 30-64, lavoro a turni	1	3,0	-	100%
	10	uomo solo, >65	1	1,5	1	100%
	11	donna sol, >65	1	20,0	-	70%
	12	studente	-	25,0	-	10%
	13	studente con lavoro	1	15,0	-	10%
	14	coppia, <30 , entrambi lavorano	1	150,0	-	2%
	15	coppia, <30 , uno lavora	1	1,5	1	100%
	16	coppia, <30 , entrambi disoccupati	-	25,0	-	20%
	17	coppia 30-64, entrambi lavorano	-	25,0	-	20%
	18	coppua, 30-64, entrambi lavorano, con domestica	1	1,5	1	100%
	19	coppia, 30-64, entrambi lavoro a turno	1	10,0	-	15%
	20	coppia 30-64, 1 lavora, 1 a casa	1	150,0	-	10%
	21	coppia 30-64, entrambi disoccupati	-	25,0	-	10%
	22	coppia, >65	1	1,5	1	100%
RESIDENZIALE	23	madre sola che lavora, 1 figlio	1	15,0	-	40%
	24	madre sola disoccupata, 1 figlio	1	10,0	-	5%
	25	padre solo che lavora, 1 figlio	1	15,0	-	20%

Figura 37 - "Output": Riassunto della configurazione di alcuni utenti residenziali

	DESCRIZIONE	OUTPUT ENERGETICI					OUTPUT AMBIENTALE
		CONSUMO TOTALE [kWh/anno]	PRODUZIONE TOTALE PV [kWh/anno]	AUTOCONSUMO REALE TOTALE [kWh/anno]	E PRELEVATA DALLA RETE [kWh/anno]	E INSERITA NELLA RETE [kWh/anno]	MANCATA EMISSIONE DI CO2 [ton/anno]
	donna nubile che lavora,<30	1066,76	0,00	0,00	1.066,76	-	-
	donna nubile disoccupata, <30	1144,32	7077,68	0,00	1.144,32	7.077,68	1,96
	uomo celibe che lavora, <30	1115,75	7077,68	0,00	1.115,75	7.077,68	1,96
	uomo celibe disoccupato, <30	1044,38	0,00	0,00	1.044,38	-	-
	donna sola che lavora, 30-64	1630,47	2123,30	569,84	1.060,63	1.553,46	0,59
	donna sola disoccupata, 30-64	857,97	8493,21	0,00	857,97	8.493,21	2,35
	uomo solo che lavora, 30-64	1026,99	0,00	0,00	1.026,99	-	-
	uomo solo disoccupato, 30-64	750,60	3538,84	0,00	750,60	3.538,84	0,98
	uomo celibe, 30-64, lavoro a turni	0,00	4246,61	0,00	-	4.246,61	1,17
	uomo solo, >65	1309,64	2123,30	513,44	796,21	1.609,87	0,59
	donna sol, >65	970,47	19817,50	0,00	970,47	19.817,50	5,48
	studente	746,71	0,00	0,00	746,71	-	-
	studente con lavoro	1099,39	2123,30	0,00	1.099,39	2.123,30	0,59
	coppia, <30 , entrambi lavorano	1967,61	4246,61	0,00	1.967,61	4.246,61	1,17
	coppia, <30 , uno lavora	2504,81	2123,30	713,44	1.791,37	1.409,87	0,59
	coppia, <30 , entrambi disoccupati	1914,88	0,00	0,00	1.914,88	-	-
	coppia 30-64, entrambi lavorano	2204,85	0,00	0,00	2.204,85	-	-
	coppua, 30-64, entrambi lavorano, con domestica	2490,28	2123,30	966,79	1.523,49	1.156,51	0,59
	coppia, 30-64, entrambi lavoro a turno	1873,46	2123,30	0,00	1.873,46	2.123,30	0,59
	coppia 30-64, 1 lavora, 1 a casa	0,00	21233,03	0,00	-	21.233,03	5,87
	coppia 30-64, entrambi disoccupati	1895,93	0,00	0,00	1.895,93	-	-
	coppia, >65	2877,06	2123,30	860,00	2.017,06	1.263,30	0,59
RESIDENZIALE	madre sola che lavora, 1 figlio	2114,85	8493,21	0,00	2.114,85	8.493,21	2,35
	madre sola disoccupata, 1 figlio	1828,45	707,77	0,00	1.828,45	707,77	0,20
	padre solo che lavora, 1 figlio	0,00	4246,61	0,00	-	4.246,61	1,17

Figura 38 - "Output": Indicatori energetici ed ambientali di alcuni utenti residenziali

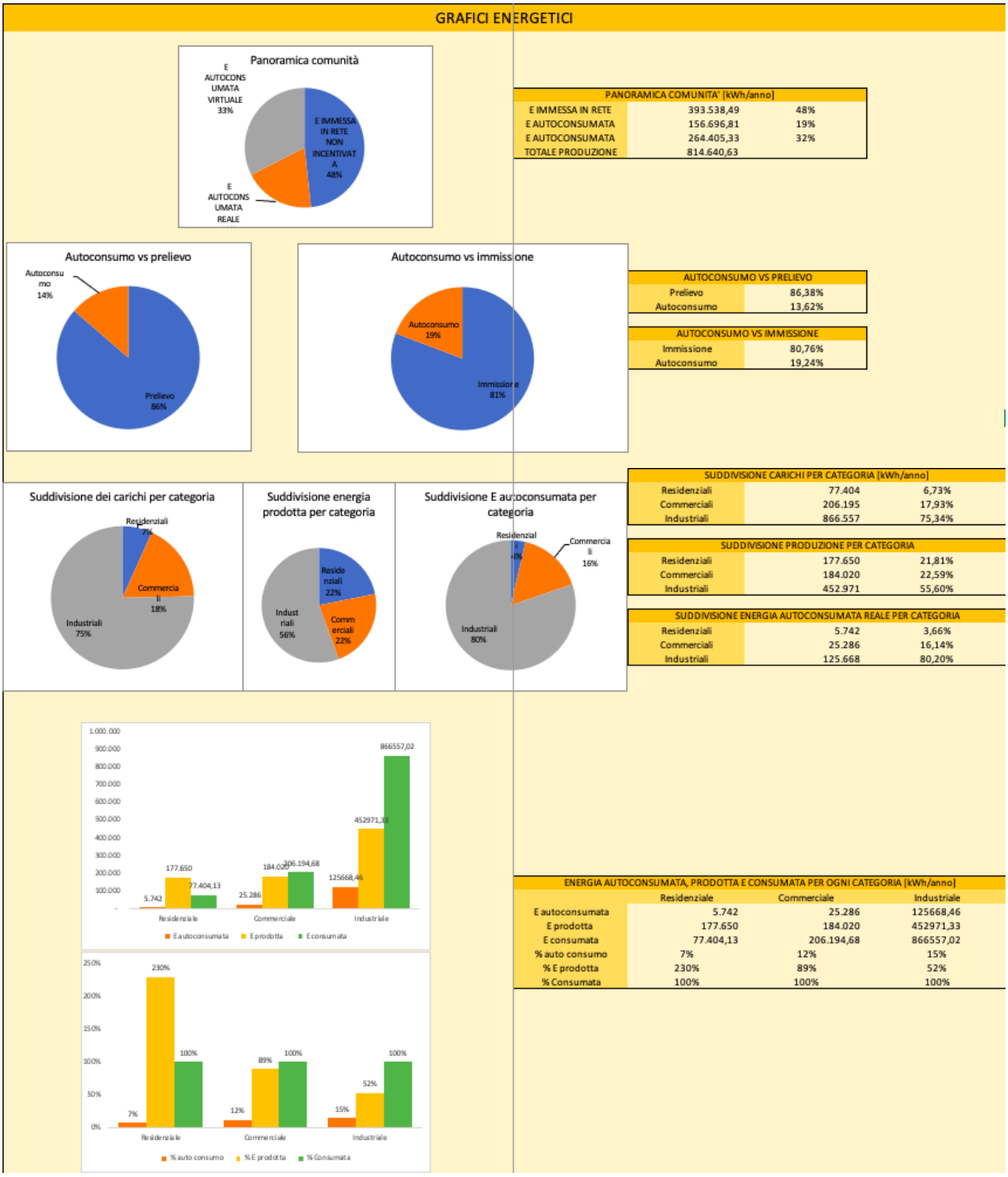
	DESCRIZIONE	OUTPUT ECONOMICI					
		SPESA ENERGIA ACQUISTATA [euro/anno]	RISPARMIO PER MANCATO ACQUISTO [euro/anno]	RICAVI VENDITA ENERGIA [euro/anno]	INCENTIVI - CONSUMO [euro/anno]	INCENTIVI - PRODUZIONE [euro/anno]	PERCENTALE INCENTIVI RICEVUTI [%]
	donna nubile che lavora,<30	- 354,67	-	-	9,28	-	0%
	donna nubile disoccupata, <30	- 370,02	-	348,22	10,10	296,64	1%
	uomo celibe che lavora, <30	- 364,36	-	348,22	9,05	296,64	1%
	uomo celibe disoccupato, <30	- 350,23	-	-	10,08	-	0%
	donna sola che lavora, 30-64	- 353,45	112,81	76,43	1,59	58,51	0%
	donna sola disoccupata, 30-64	- 313,33	-	417,87	6,21	355,97	1%
	uomo solo che lavora, 30-64	- 346,79	-	-	9,94	-	0%
	uomo solo disoccupato, 30-64	- 292,08	-	174,11	7,77	148,32	0%
	uomo celibe, 30-64, lavoro a turni	-	-	208,93	-	177,98	1%
	uomo solo, >65	- 301,11	101,64	79,21	29,35	61,65	0%
	donna sol, >65	- 335,60	-	975,02	10,47	830,59	3%
	studente	- 291,31	-	-	6,73	-	0%
	studente con lavoro	- 388,58	-	104,47	9,77	88,99	0%
	coppia, <30 , entrambi lavorano	- 533,00	-	208,93	18,29	177,98	1%
	coppia, <30 , uno lavora	- 542,84	159,05	69,37	5,66	52,78	0%
	coppia, <30 , entrambi disoccupati	- 570,38	-	-	19,32	-	0%
	coppia 30-64, entrambi lavorano	- 579,97	-	-	21,03	-	0%
	coppua, 30-64, entrambi lavorano, con domestica	- 483,12	215,53	56,90	5,98	40,47	0%
	coppia, 30-64, entrambi lavoro a turno	- 514,36	-	104,47	14,64	88,99	0%
	coppia 30-64, 1 lavora, 1 a casa	-	-	1.044,67	-	889,91	3%
	coppia 30-64, entrambi disoccupati	- 566,15	-	-	15,24	-	0%
	coppia, >65	- 593,15	191,7	62,15	14,20	44,34	0%
RESIDENZIALE	madre sola che lavora, 1 figlio	- 614,95	-	417,87	20,31	355,97	1%
	madre sola disoccupata, 1 figlio	- 551,11	-	34,82	16,36	29,66	0%
	padre solo che lavora, 1 figlio	-	-	208,93	-	177,98	1%

Figura 39 - "Output": Indicatori economici di alcuni utenti residenziali

Per avere una visione ancora più chiara della CER, vengono forniti alcuni grafici calcolati automaticamente dal software.
Da un punto di vista energetico:

- La panoramica della comunità rappresenta la percentuale di energia prodotta autoconsumata reale, virtuale e immessa in rete. Autoconsumare energia è più remunerativo rispetto alla sola vendita alla rete, per questo il grafico rappresenta un utile strumento per comprendere come configurare al meglio la comunità e ottenere più guadagni.
- La percentuale di energia autoconsumata reale rispetto al consumo e alla produzione.
- La suddivisione dell'energia consumata, prodotta e autoconsumata per categoria, sia da un punto di vista percentuale che numerico.

Per ogni grafico vengono mostrati, sotto forma tabellare, i valori in input utilizzati per la sua costruzione.



PANORAMICA COMUNITA' [kWh/anno]		
E IMMESSA IN RETE	393.538,49	48%
E AUTOCONSUMATA	156.696,81	19%
E AUTOCONSUMATA	264.405,33	32%
TOTALE PRODUZIONE	814.640,63	

AUTOCONSUMO VS PRELIEVO	
Prelievo	86,38%
Autoconsumo	13,62%

AUTOCONSUMO VS IMMISSIONE	
Immissione	80,76%
Autoconsumo	19,24%

SUDDIVISIONE CARICHI PER CATEGORIA [kWh/anno]		
Residenziali	77.404	6,73%
Commerciali	206.195	17,93%
Industriali	866.557	75,34%

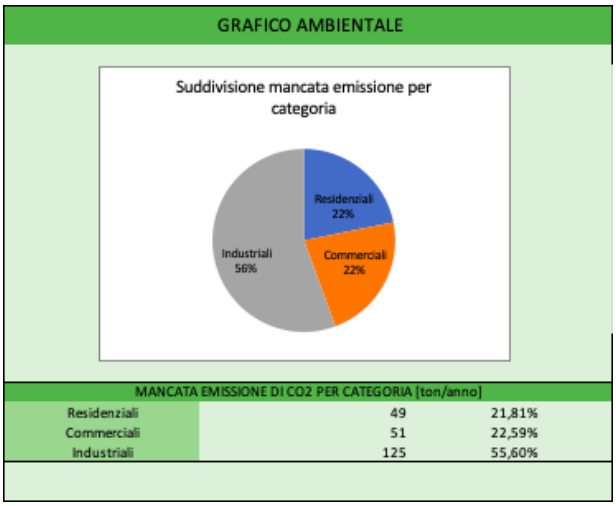
SUDDIVISIONE PRODUZIONE PER CATEGORIA		
Residenziali	177.650	21,81%
Commerciali	184.020	22,59%
Industriali	452.971	55,60%

SUDDIVISIONE ENERGIA AUTOCONSUMATA REALE PER CATEGORIA		
Residenziali	5.742	3,66%
Commerciali	25.286	16,14%
Industriali	125.668	80,20%

ENERGIA AUTOCONSUMATA, PRODOTTA E CONSUMATA PER OGNI CATEGORIA [kWh/anno]			
	Residenziale	Commerciale	Industriale
E autoconsumata	5.742	25.286	125668,46
E prodotta	177.650	184.020	452971,33
E consumata	77.404,13	206.194,68	866557,02
% auto consumo	7%	12%	15%
% E prodotta	230%	89%	52%
% Consumata	100%	100%	100%

Figura 40 - "Output": Grafici energetici forniti

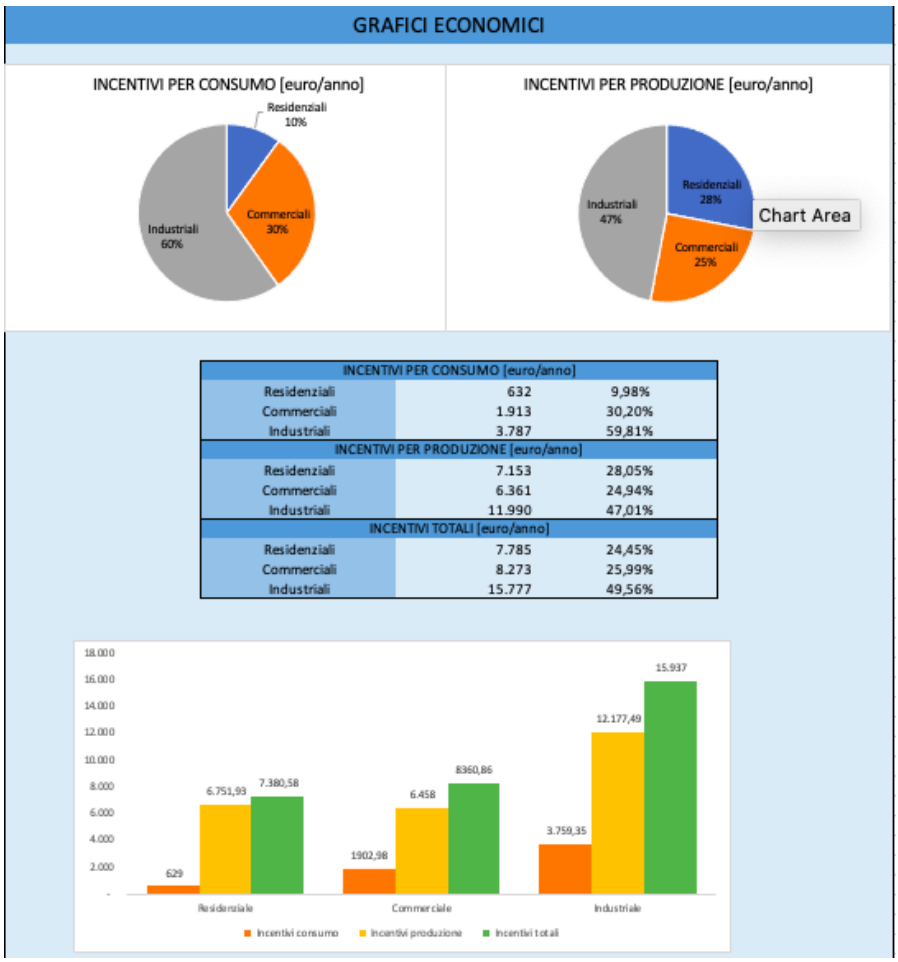
Dal punto di vista ambientale, il grafico mostra l'apporto di ogni categoria alla mancata emissione di CO2.



MANCATA EMISSIONE DI CO2 PER CATEGORIA [ton/anno]		
Residenziali	49	21,81%
Commerciali	51	22,59%
Industriali	125	55,60%

Figura 41 - "Output": Grafico ambientale fornito

Vengono presentati i grafici riguardanti la suddivisione degli incentivi per consumo e per produzione per categoria, in fattore percentuale e numerico.



INCENTIVI PER CONSUMO [euro/anno]		
Residenziali	632	9,98%
Commerciali	1.913	30,20%
Industriali	3.787	59,81%
INCENTIVI PER PRODUZIONE [euro/anno]		
Residenziali	7.153	28,05%
Commerciali	6.361	24,94%
Industriali	11.990	47,01%
INCENTIVI TOTALI [euro/anno]		
Residenziali	7.785	24,45%
Commerciali	8.273	25,99%
Industriali	15.777	49,56%

Figura 42 - "Output": Grafici economici forniti

In ultimo, a lato di ogni utente vengono indicati i valori numerici utilizzati per il calcolo degli indicatori.

Gli altri fogli di calcolo che costituiscono il software rappresentano l'analisi economica di alcuni utenti caratteristici, per cui viene presentato il flusso di cassa attualizzato, che permette di calcolare il vantaggio economico dell'ingresso nella CER. Gli utenti considerati sono:

- Consumatori: domestici e non;
- Produttori: domestici e non;
- Prosumer: domestici e non;
- Prosumer con autoconsumo reale: domestici e non.

Gli input necessari alla definizione del Valore Attuale Netto (VAN) sono derivati in automatico dalla configurazione iniziale, a meno del reddito annuo, necessario per il calcolo delle imposte, che viene richiesto in aggiunta.
In modo automatizzato, vengono ottenuti la tabella di flusso di cassa e il suo grafico. Essi, analizzando i guadagni, le spese e le imposte annuali permettono di verificare se l'investimento viene ripagato nell'arco di vent'anni.

TABELLA DI CASH FLOW										
N.	Investimento (I)	Ricavi totali	Ammort.	O&M	Spese	Risultato prima delle imposte	Imposte	Flusso di cassa netto	Flusso di cassa netto attualizzato	VAN
0	-32.000	0	0	0	0	0	0	-32.000,0	-32.000,0	-32.000
1	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	4.364	-27.636
2	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	4.156	-23.480
3	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	3.958	-19.521
4	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	3.770	-15.752
5	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	3.590	-12.161
6	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	3.419	-8.742
7	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	3.257	-5.485
8	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	3.101	-2.384
9	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	2.954	570
10	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	2.813	3.383
11	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	2.679	6.062
12	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	2.552	8.614
13	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	2.430	11.044
14	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	2.314	13.358
15	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	2.204	15.562
16	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	2.099	17.661
17	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	1.999	19.660
18	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	1.904	21.564
19	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	1.813	23.378
20	0	6.160	-1.600	-220	-40	4.300	-1.317	4.582,2	1.727	25.105

Figura 43 - "Flussi di Cassa": Tabella di flusso di cassa

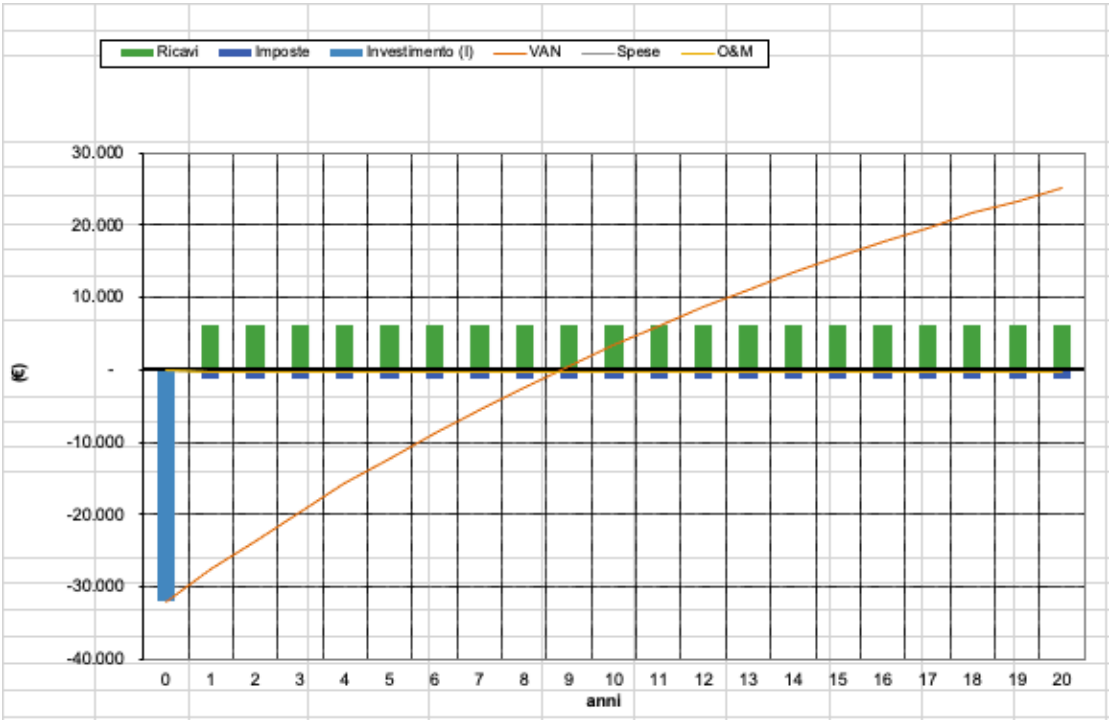


Figura 44 - "Flusso di cassa": Andamento del VAN durante gli anni di analisi

3.2 "Analisi Energetica"

Di seguito vengono motivate le scelte effettuate nella progettazione della piattaforma, i dati richiesti all'utente come input e i valori utilizzati per gli indicatori finali. Considerato l'obiettivo di creare una piattaforma più semplice possibile, si è cercato di trovare delle approssimazioni che permettessero di porre un numero limitato di domande all'utente, pur mantenendo una buona affidabilità nei risultati. Le scelte che sono state effettuate si basano sullo studio della letteratura e sulle conoscenze universitarie.

3.2.1 Gli utenti considerati

Seguendo le regole tecniche del GSE, la comunità energetica è stata considerata un soggetto giuridico che abbia "azionisti o membri che siano persone fisiche, piccole e medie imprese (PMI), enti territoriali o autorità locali, comprese le amministrazioni comunali, a condizione che, per le imprese private, la partecipazione alla comunità di energia rinnovabile non costituisca l'attività commerciale e/o industriale principale".
Poiché il software vuole mostrare i vantaggi che un cittadino, un'azienda o un ente potrebbe avere con l'istituzione di una CER, gli utenti considerati rilevanti sono quelli che possiedono carichi o impianti che rientrano all'interno della comunità. La comunità viene considerata gestita dai propri membri e i guadagni divisi tra essi.
Gli utenti considerati sono:

- Consumers (C): consumatori di energia elettrica, a loro sono associati dei carichi;
- Producers (P): produttori di energia elettrica che hanno una percentuale di proprietà di un impianto fotovoltaico, ma non un carico;

- Prosumers: utenti che sono sia produttori che consumatori. L'impianto può essere collegato al carico e l'energia generata in parte autoconsumata e in parte immessa in rete e, in questo caso, si parla di prosumer con autoconsumo reale (PSR), oppure completamente immessa in rete e si parla semplicemente di prosumer (PS).

3.2.2 I carichi

I carichi considerati nella piattaforma sono quelli elettrici derivanti dagli edifici, che, interi o suddivisi nelle unità che li compongono, appartengono a tre categorie, a seconda dell'utilizzo: residenziale, commerciale e industriale.
Sono state identificate le curve di carico orarie dei consumi per un anno, cioè l'andamento della potenza attiva prelevata dalla rete in un determinato periodo di tempo, la cui vicinanza alla realtà risulta fondamentale per l'ottenimento di risultati veritieri.
Di seguito, vengono discusse le ipotesi che permettono di adattare i consumi agli input introdotti dall'utente e di renderli verosimili.

Residenziale

Il consumo elettrico residenziale può variare molto; per questo è importante analizzare da quali indicatori dipende e utilizzarli per generare le domande rivolte all'utente. L'obiettivo di questo capitolo è mostrare la costruzione delle curve orarie dei consumi e la metodologia che permette di modificarle, a seconda degli input introdotti dall'utente.

Scelta degli indicatori

I fattori caratterizzanti il consumo energetico residenziale possono essere riassunti in:

1) *Aspetti sociodemografici*: l'età, il livello di educazione, il tipo di famiglia e il guadagno determinano la classe sociale e il tipo di vita degli occupanti e possono riflettersi su come viene consumata l'energia. Ad esempio, è stato dimostrato che persone più anziane tendono ad usare più energia di quelle giovani oppure che il livello di educazione è negativamente correlato con il consumo, infatti, occupanti con una maggiore educazione tendono a fare scelte più moderne ed energeticamente più efficienti.
2) *Caratteristiche dell'edificio*: aumentare l'efficienza energetica degli edifici è una delle priorità di molti Paesi, essendo stato dimostrato che il consumo può essere ridotto migliorando i sistemi di riscaldamento, raffreddamento e aria condizionata, l'illuminazione e l'isolamento termico. Il numero di stanze e la quantità di energia utilizzata sono correlate positivamente, così come l'età degli edifici, poiché generalmente edifici più antichi hanno sistemi di generazione più vecchi di quelli nuovi. Un altro fattore rilevante è il tipo di stabile considerato: il consumo di una casa singola separata è superiore a quello di una casa adiacente.
3) *Il luogo*: la collocazione dell'edificio è un aspetto rilevante. Nelle città si registrano temperature superiori a causa del fenomeno di urban heat island, ma gli edifici sono solitamente più recenti che altrove, portando complessivamente ad un consumo inferiore rispetto a municipalità con meno abitanti.

4) *La temperatura*: il clima può causare dei cambiamenti nel riscaldamento e nel raffrescamento di un edificio; la relazione tra temperatura e consumo di energia non è lineare, facendo sì che alte e basse temperature corrispondano ad un consumo maggiore e quelle intermedie ad uno minore.
5) *Prezzi dell'energia*: il prezzo dell'energia può influenzare la decisione degli occupanti nel modificare il consumo di gas e di elettricità.

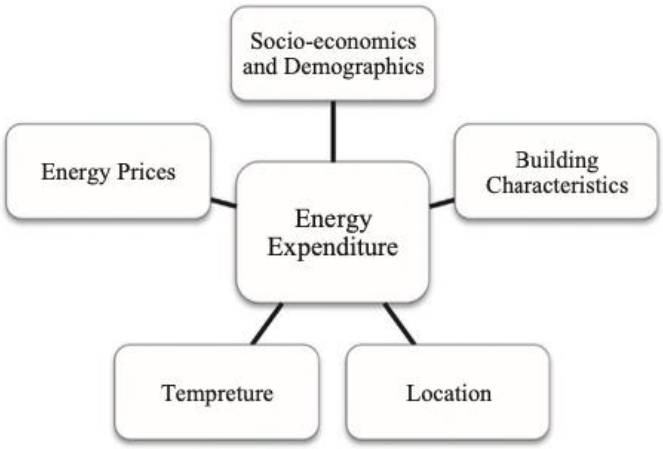


Figura 46 – Aspetti che modificano il consumo energetico di un edificio residenziale [39]

Per determinare gli indicatori, viene preso in considerazione lo studio "The determinants of residential energy expenditure in Italy", che utilizza il metodo statistico per definire la relazione tra una serie di variabili e il consumo di energia residenziale in Italia. Questo lavoro di tesi analizza i carichi elettrici, per cui sono stati considerati solo gli indicatori legati ad essi. È stato considerato di particolare importanza basarsi su uno studio collocato in Italia; il consumo elettrico residenziale può variare molto tra Stati, come si può vedere considerando l'Europa.

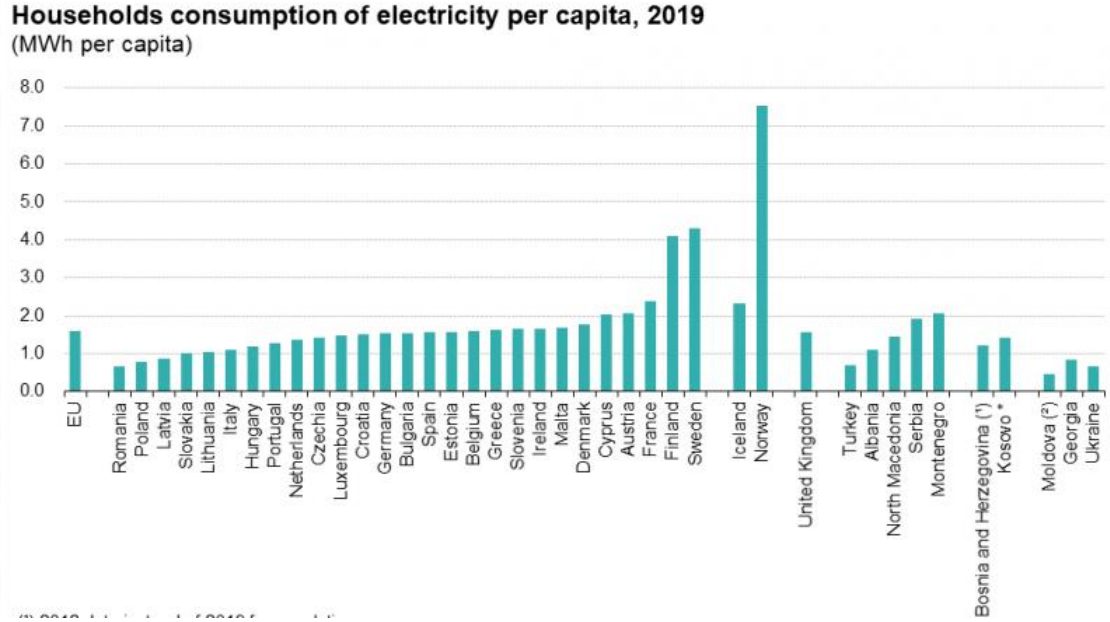


Figura 47 – Consumo elettrico pro capite residenziale, 2019 [40]

Le variabili prese in considerazione rientrano in tre categorie: sociodemografiche, caratteristiche dell'edificio (di cui fanno parte anche l'ubicazione e, di conseguenza, la temperatura) e le apparecchiature. I dati utilizzati nello studio derivano da un censimento condotto dall'Istat e sono stati analizzati per trovare quali indicatori causano una variazione nel consumo di energia elettrica con una valenza statistica; essi sono:

- **Presenza di apparecchiature.** Il consumo annuale di energia elettrica pro capite (Sel,ann,pc) nel caso in cui si abbia una lavastoviglie aumenta dell'8,2%, nel caso di aria condizionata del 9,8%;
- **Grandezza dell'edificio.** Rispetto alla superficie media di 98 m^2, un aumento della superficie dei pavimenti di 1 m^2 porta allo 0,25% in più di consumo pro capite;
- **Tipo di municipalità.** Rispetto al caso in cui l'edificio si colloca in una municipalità al di sotto di 50.000 abitanti, vivere al centro di una metropoli porta ad una leggera diminuzione di Sel,ann,pc (-3,81%), mentre essere nella periferia di una municipalità con 50.001 abitanti o più fa aumentare Sel,ann,pc di 2,76%. Altri studi, però, hanno mostrato un incremento del consumo nelle città;
- **Locazione.** Vivere nel Nord-Ovest crea una diminuzione nel consumo annuo pro capite dello 0,85% rispetto al Centro Italia, nel Nord-Est dell'11,58%, nel sud del 13,48%, in Sicilia un aumento dello 0,551% e in Sardegna del 16,12%;
- **Caratteristiche dell'edificio.** Rispetto al caso più comune di un appartamento in un edificio con meno di dieci appartamenti, una villa monofamiliare consuma l'8,4% in più, una villa plurifamiliare l'8,2% in più, un appartamento in un edificio con più di dieci appartamenti leggermente meno (-6,11%) e la categoria altro anche (-6,71%);
- **Connessione alla rete del gas**. Nel caso in cui non ci sia alcuna connessione, Sel,ann,pc aumenta del 12,8%, probabilmente a causa dell'utilizzo di elettricità per il riscaldamento;
- **Tipologia di famiglia**. Paragonato con il caso più comune di una coppia con un figlio, una coppia con due figli ha una diminuzione di Sel,ann,pc del 20,8%, una con tre del 31,8%; Sel,ann,pc aumenta nel caso di una famiglia con un solo genitore (+10,9%), una persona single (a seconda dell'età, tra i 18 e i 34 anni 63,78%, tra i 35 e i 64 62,05% e più di 65 68,83%). L'età degli occupanti non è stata trovata rilevante, ma ci sono studi che hanno mostrato l'esistenza di una relazione con il consumo pro capite;
- **Iscrizione ai corsi di studio**. Rispetto al caso in cui nessuno sta frequentando un corso di studi, Sel,ann,pc cambia se almeno un membro sta frequentando un corso senza finalità di titolo di studio (-15,69%), la scuola elementare (-15,89%), le medie (-13,18%), il liceo (-5,3%), l'università (-4,87%);
- **Povertà assoluta.** Essa riduce il valore di Sel,ann,pc del 15,8%;
- **Presenza di lavoratori autonomi.** Nel caso in cui siano presenti, il consumo aumenta dell'8,89% se ce n'è uno, del 16,42% per più di uno.

Per le altre variabili prese in considerazioni non sono state trovate relazioni statistiche significative. Le immagini mostrano le variabili considerate e il risultato dell'analisi; le risposte in grassetto sono quelle con più casi e, quindi, le più comuni, rispetto alle quali viene calcolata la variazione di Sel,ann,pc.

Variable	Description
Absolute poverty	(a) Yes [834], **(b) No [14179]**
Age of the HRP	(a) Up to 34 years [995], (b) From 25 to 44 years [2343], **(c) From 45 to 54 years [3059]**, (d) From 55 to 64 years [2934], (e) From 65 to 74 years [2841], (f) From 75 years [2841]
Birth place of the household components	**(a) Only born in Italy [13456]**, (b) At least one born abroad [973], (c) Only born abroad [584]
Changes in economic resources compared to the previous year	(a) Much improved [30], (b) A little bit improved [512], **(c) More or less the same [8488]**, (d) A little worsened [4626], (e) Much worsened [1357]
Citizenship of the household components	**(a) Only Italian citizens [14176]**, (b) At least one foreign citizens [257], (c) Only foreign citizens [580]
Current economic resources	(a) Optimal [279], **(b) Adequate [7912]**, (c) Scarce [5651], (d) Insufficient [1171]
Enrolment in study courses	**(a) No members enrolled in a course [[10930]**, (b) At least one in no title school [419], (c At least one in elementary school [747], (d) At least one in junior high school [584], (e) At least one in high school [1244], (f) At least one in a degree or post-degree course [1089]
Entrepreneurs and freelancer workers	**(a) No one [13696]**, (b) One [1172], (c) More than one [145]
Expenditure for elderly/disabled people	(a) Yes [100], **(b) No [14913]**
Household structure	(a) Single person 18–34 years [391], (b) Single person 35–64 years [1817], (c) Single person 65 years and more [2240], (d) Couple without children with *HRP* 18–34 years [178], (e) Couple without children with *HRP* 35–64 years [1350], (f) Couple without children with *HRP* 65 years and more [2164], **(g) Couple with 1 child [2276]**, (h) Couple with 2 children [2184], (i) Couple with 3 children or more [495], (l) Mono parent family [1033], (m) Others [885]
Number of managers and employees	**(a) No one [8227]**, (b) One [4739], (c) More than one [2047]
Marital status of the HRP	(a) Unmarried [2551], **(b) Married or cohabitant [8252]**, (c) Married but not cohabitant [355], (d) Legally separated [625], (e)) Divorced [698], (f) Widow or widower [2532]
Qualification of the occupants	(a) No member has a qualification [377], (b) At least one member with elementary school [1978], (c) At least one member with junior high school [3108], **(d) At least one member with high school [6483]**, (e) At least one member with a degree [3067]
Self-employed workers	**(a) No one [11876]**, (b) One [2583], (c) More than one [554]
Sex of the HRP	**(a) Male [10193]**, (b) Female [4820]
Source of income of the occupants	(a) There is no income [83], (b) At least one maintained [413], (c) At least one pension [4911], **(d) At least one income [9606]**
Transportation expenditures	**Continuous variable** [Mean = 130/Variance = 18725]
Work contract of the occupants	**(a) There is neither temporary job nor permanent job [7536]**, (b) At least one temporary job [1125], (c) At least one permanent job [6352]
Workers and similar	**(a) No one [8166]**, (b) One [4741], (c) More than one [2106]
Number of workers in the primary sector	**(a) No one [13622]**, (b) One [1100], (c) More than one [291]
Number of workers in the secondary sector	**(a) No one [9766]**, (b) One [4098], (c) More than one [1149]
Number of workers in the tertiary sector	(a) No one [4577], **(b) One [6195]**, (c) More than one [4241]

Figura 48 – Variabili sociodemografiche considerate e la loro frequenza

Variable	Description
Domestic hot water system	(a) Electric boiler [2009], (b) Gas boiler [3603], (c) Heating system [9135], (d) Other [24], (e) Solar panel [199], (f) No hot water system [43]
Natural gas from network	**(a) Yes [12359]**, (b) No [2645]
Gas/Electricity cooking	**(a) Yes [14940]**, (b) No [73]
Geographic location	(a) North-west [3284], (b) North-east [3382], **(c) Centre [2791]**, (d) South [4385], (e) Sicily [753], (f) Sardinia [418]
Number of rooms	(a) 1 [443], (b) 2 [2876], **(c) 3 [5912]**, (d) 4 [4044], (e) 5 [1212], (f) 6 [333], (g) 7 or more [193]
Occupation title	(a) Rent or sublease [2358], **(b) Property [11169]**, (c) Usufruct [352], (d) Free use [1134]
Period of construction	(a) After 2009 [190], (b) Between 2000 and 2009 [1222], (c) 1990s [1411], (d) 1980s [2326], **(e) 1970s [3426]**, (f) 1960s [2724], (g) 1950s [1481], (h) Between 1900 and 1949 [1404], (i) Before 1900 [829]
Floor area	**Continuous variable** [Mean = 98/Variance = 1342]
Type of heating system and fuel	(a) Central heating - Natural gas from network [1381], (b) Central heating – Gas oil/kerosene/other liquid fuels [264], **(c) Autonomous heating - Natural gas from network [9443]**, (d) Autonomous heating – Gas oil/kerosene/other liquid fuels [270], (e) Autonomous - Gas cylinder[483], (f) Autonomous - Wood/pellet/Other solid [964], (g) District heating [109], (h)) Individual devices - Wood/pellet/Other solid [841], (i) Individual devices - Other not solid fuels [396], (l) Other [101], (m) No heating system [761]
Type of dwelling	(a) Single family villa [2738], (b) Multifamily villa [4587], **(c) Apartments in building with less than 10 apartments [3733]**, (d) Apartments in building with 10 or more apartments [3939], (e) Other [16]
Type of municipalities	(a) Centre of metropolitan area [1889], (b) Periphery of metropolitan area and municipalities with 50.001 inhabitants and more [4032], **(c) Other municipalities until 50.000 inhabitants [9092]**

Figura 49 – Variabili legate all'edificio e la loro frequenza

Variable	Description
Expenses for appliances and electric tools	***Continuous variable*** [Mean = 22/Variance = 1650]
Number of cars	(a) No one [2761], **(b) One [7324],** (c) Two [4226], (d) Three or more [702]
Number of computers	(a) No one [5607], **(b) One [6771],** (c) Two [2087], (d) Three or more [548]
Number of mobile phones	(a) No one [1565], **(b) One [4373]**, (c) Two [5225], (d) Three or more [3850]
Number of televisions	(a) No one [648], **(b) One [6600],** (c) Two [5785], (d) Three or more [1980]
Ownership of air conditioner	(a) Yes [5043], **(b) No [9970]**
Ownership of a dishwasher	(a) Yes [7220], **(b) No [7793]**
Ownership of fridge	**(a) Yes [14982],** (b) No [31]
Ownership of washing machine	**(a) Yes [14750],** (b) No [263]
Self-consumption	(a) Yes [2029], **(b) No [12984]**

Figura 50– Variabili legate alle apparecchiature e la loro frequenza

Definizione della curva di carico tipologica

Le curve utilizzate per la categoria residenziale sono messe a disposizione dal software Load Profile Generator. Esse sono ottenute tramite la simulazione delle caratteristiche e delle attività degli abitanti, nonché dell'utilizzo delle apparecchiature contenute nelle abitazioni. Il

risultato è il valore minuto per minuto dei consumi elettrici delle abitazioni. Sommando sessanta valori si ottengono i consumi orari.
Tra tutte le curve a disposizione, si scelgono le più significative, elencate di seguito insieme al valore del consumo annuo di elettricità:

Tabella 2 - Curve di carico elettrico residenziale e relativo consumo annuale

UNA PERSONA	
Studentessa	1563,19 kWh/anno
Studente	1102,67 kWh/anno
Studente con lavoro	1963,20 kWh/anno
Donna <30 con lavoro	1778,51 kWh/anno
Donna <30 senza lavoro	1833,57 kWh/anno
Uomo <30 con lavoro	1512,73 kWh/anno
Uomo <30 senza lavoro	2036,28 kWh/anno
Donna, 30-64, con lavoro	1733,92 kWh/anno
Donna, 30-64, senza lavoro	1463,03 kWh/anno
Uomo, 30-64, con lavoro	1446,06 kWh/anno
Uomo, 30-64, senza lavoro	1644,77 kWh/anno
Uomo >65	1569,31 kWh/anno
Donna >65	2386,36 kWh/anno
DUE PERSONE	
Donna single, 1 bambino, con lavoro	1082,78 kWh/anno
Donna single, 1 bambino, senza lavoro	3676,34 kWh/anno
Uomo single, 1 bambino, con lavoro	2984,01 kWh/anno
Coppia, <30, con lavoro	2967,75 kWh/anno
Coppia, <30, senza lavoro	2448,96 kWh/anno
Coppia, <30, uno al lavoro	3744,75 kWh/anno
Coppia, 30-64, con lavoro	1706,07 kWh/anno
Coppia, 30-64, senza lavoro	2319,58 kWh/anno
Coppia, 30-64, uno al lavoro, uno a casa	2870,33 kWh/anno
Coppia, 30-64, con lavoro e aiuto domestico	4028,20 kWh/anno
Coppia, 30-64, lavoro a turni	2369,31 kWh/anno
Coppia >65	3700,69 kWh/anno
TRE PERSONE	
Donna, 2 bambini, con lavoro	3277,88 kWh/anno
Donna, 2 bambini, senza lavoro	4649,42 kWh/anno
Uomo, 2 bambini, con lavoro	3770,63 kWh/anno
Famiglia, 1 bambino, entrambi a lavoro	2613,50 kWh/anno
Famiglia, 1 bambino, no lavoro	3800,11 kWh/anno
Famiglia, 1 bambino, uno a lavoro	4026,00 kWh/anno

3 adulti: coppia 30-64, entrambi a lavoro e un senior	5782,08 kWh/anno
QUATTRO	
Appartamento per studenti	2208,79 kWh/anno
Donna, 3 bambini, no lavoro	3059,13 kWh/anno
Famiglia, 2 bambini, con lavoro	4312,30 kWh/anno
Famiglia, 2 bambini, senza lavoro	4033,88 kWh/anno
Famiglia, 2 bambini, uno al lavoro	4224,73 kWh/anno
CINQUE O PIÙ PERSONE	
Famiglia, 3 bambini, con lavoro	4001,24 kWh/anno
Famiglia, 3 bambini, no lavoro	4496,22 kWh/anno
Famiglia, 3 bambini, uno al lavoro	5538,27 kWh/anno
Famiglia, 2 bambini, 2 senior	8179,47 kWh/anno

Secondo i dati di Terna, nel 2018 il consumo di energia elettrica medio per abitante in Italia era di 5.024 KWh/anno, di cui 1.078 kWh/anno domestici.
I valori definiti da Load Profile Generator appaiono, in alcuni casi, differenti rispetto al consumo reale. Si procede, quindi, ad analizzare gli utenti, il cui valore si discosta maggiormente da quello predetto da Terna.

Paragonando il consumo di una donna over 65 con quello di un uomo over 65, si ha una differenza di consumo di 817 kWh/anno in più nel caso della donna. Il suo carico di base è di 552 kWh/anno, mentre quello dell'uomo di 974 kWh/anno, come si può vedere nelle curve del consumo di energia elettrica dei diversi apparecchi.

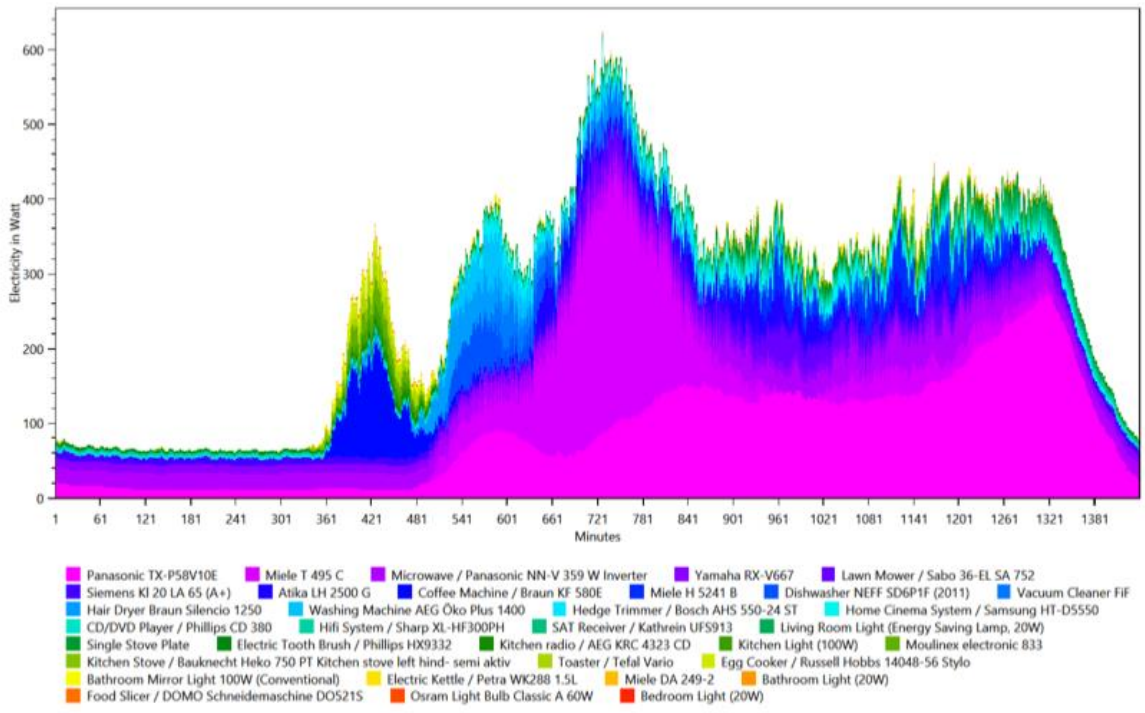


Figura 51 – Energia utilizzata dai device di una donna over 65 [77]

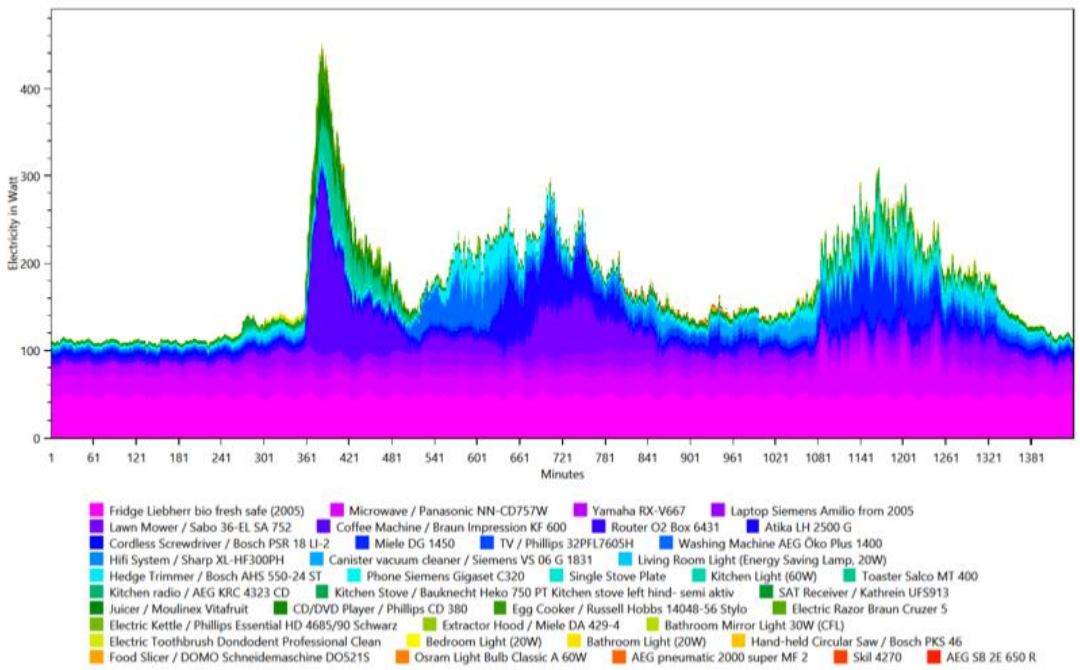


Figura 52 – Energia utilizzata dai device di un uomo over 65 [78]

Il carico autonomo della donna, però, rappresenta solo il 22,9% del totale, mentre quello dell'uomo il 61,6%. La donna, infatti, svolge più attività "energivore" nel campo della pulizia, come usare l'asciugatrice, e ricreativo.

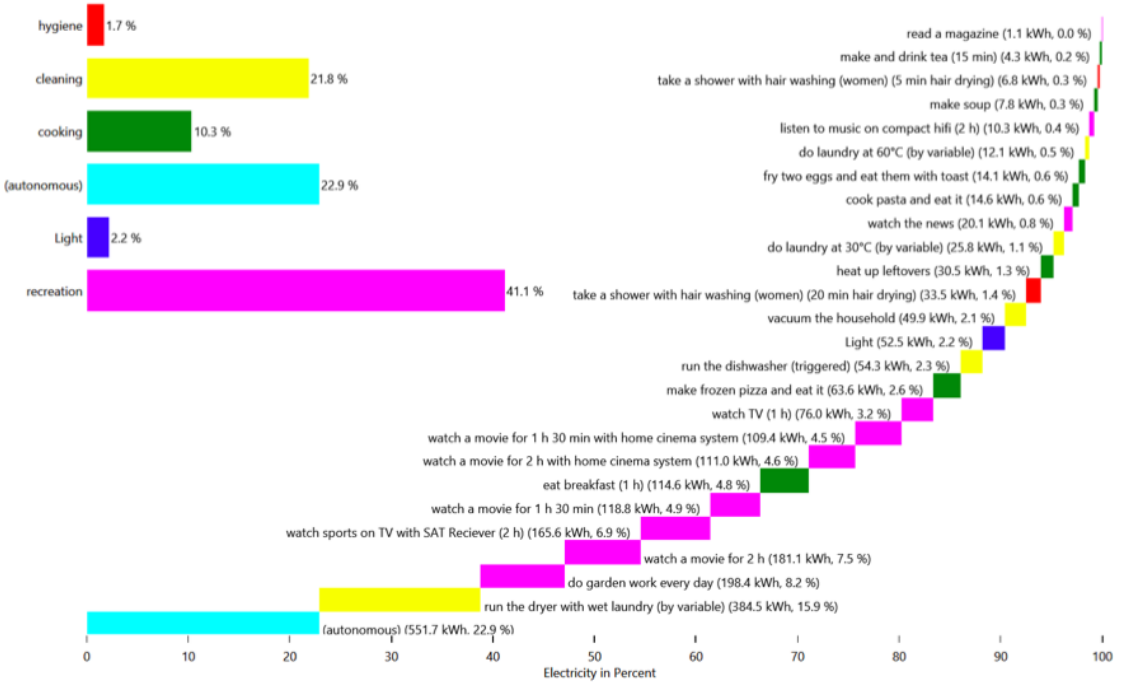


Figura 53 – Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per una donna over 65 anni [77]

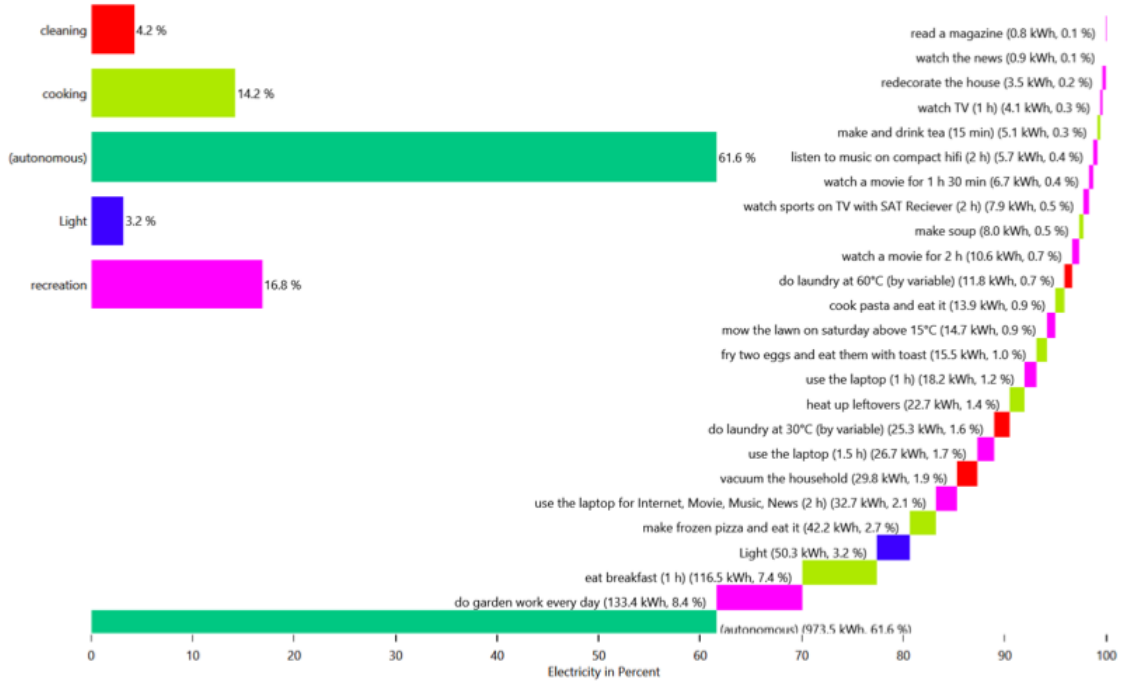


Figura 54 – Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per un uomo over 65 anni [78]

La curva di carico della donna presenta tre picchi, nel caso di un giorno infrasettimanale e di sabato: uno alle sei del mattino, uno all'ora di pranzo e uno alla sera. Il picco nell'ora di pranzo aumenta la sua intensità passando dall'inverno all'estate. Di domenica, i picchi rimangono prevalentemente due, quello alla mattina e quello all'ora di cena.

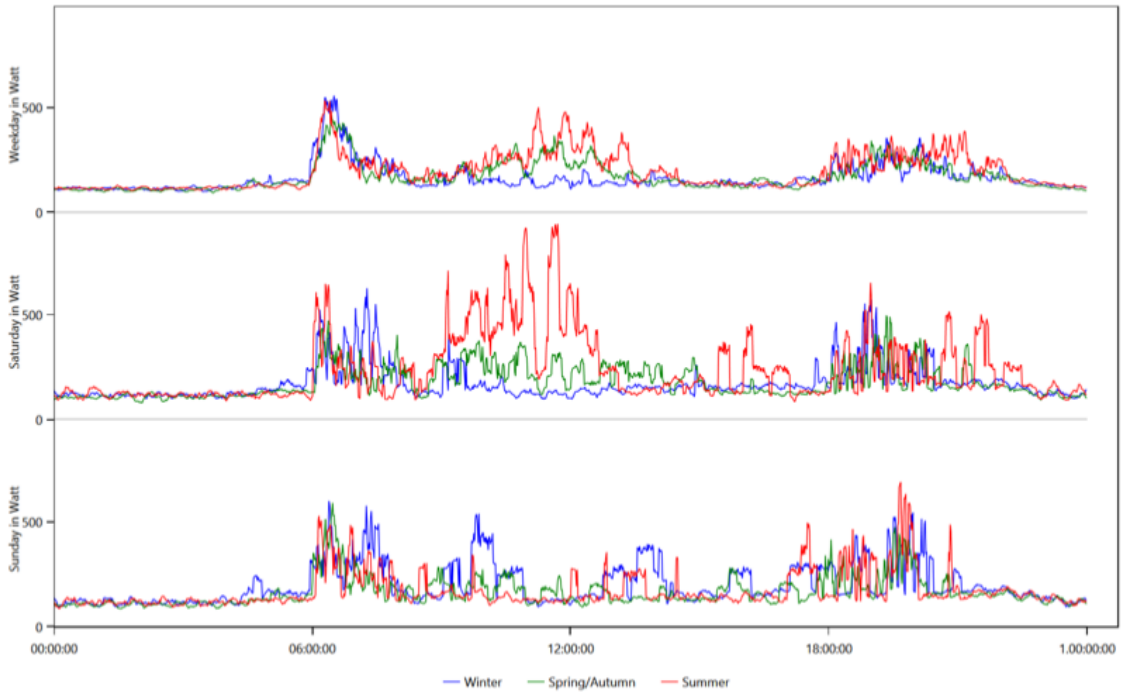


Figura 55 - Curva di carico di una donna over 65 [77]

La curva di carico dell'uomo over 65 presenta valori massimi maggiori e un andamento più costante nel tempo: essa cresce a partire dalle sei del mattino, per arrivare ad un massimo intorno all'ora di pranzo e stabilizzarsi su un consumo costante fino alle 00:00. Nel caso della domenica, il picco dell'ora di pranzo è maggiore e si aggiunge una valle intorno alle 18.

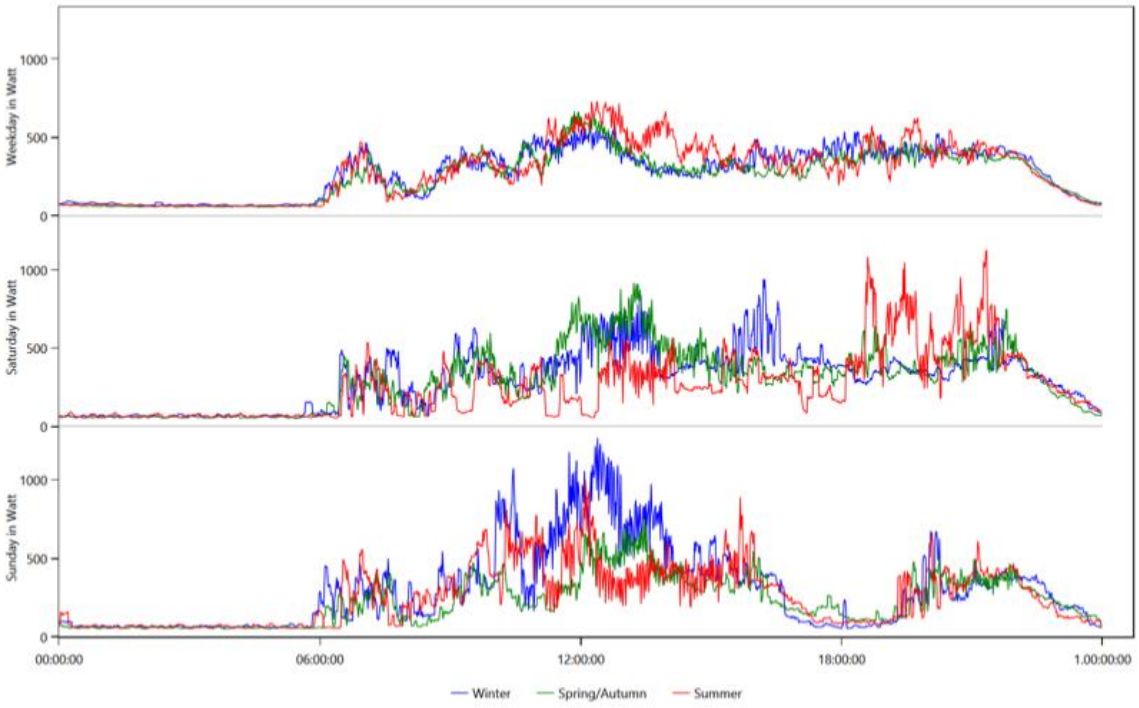


Figura 56 - Curva di carico di un uomo over 65 [78]

Per la categoria due persone, il consumo previsto è il doppio di quello medio, 2.156 kWh/anno. Due casi che si discostano da questo valore sono la donna con bambino con lavoro, il cui consumo è 1.083 kWh/anno e la donna con bambino disoccupata, con consumo di 3.676 kWh/anno. Il carico di base della donna con lavoro, denominato autonomo, è di 1.226 kWh/anno, contro i 530 kWh/anno nel caso di disoccupazione, dato dalla presenza di un maggior numero di apparecchiature elettroniche.

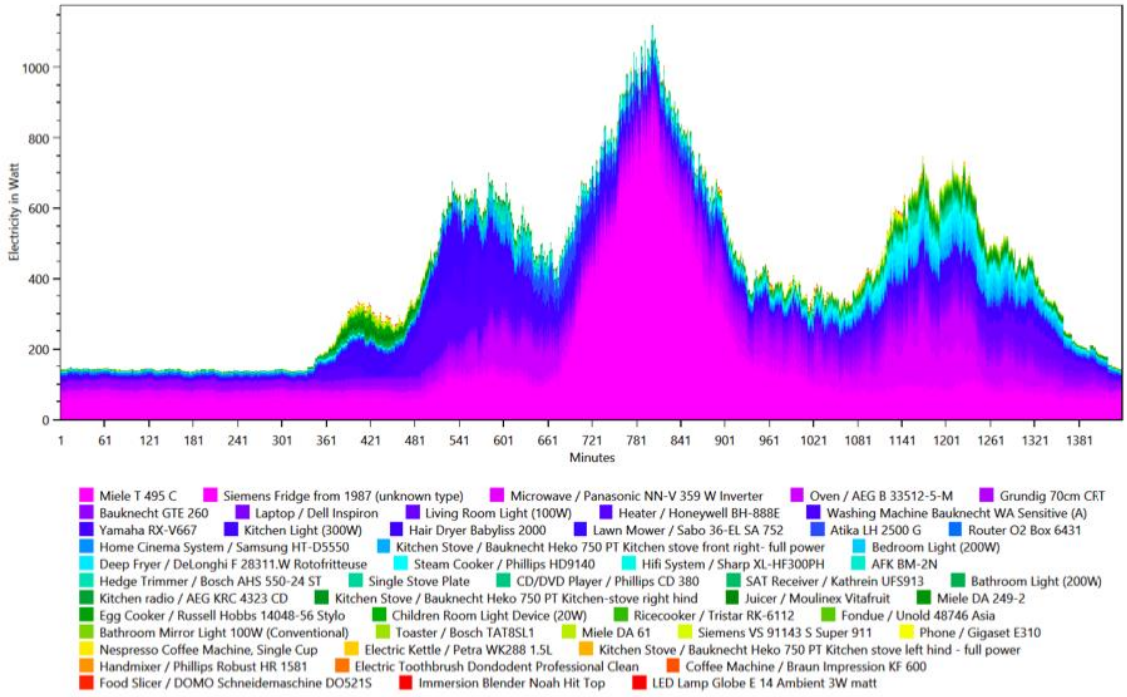


Figura 57 – Energia utilizzata dai device di una donna con bambino senza lavoro [79]

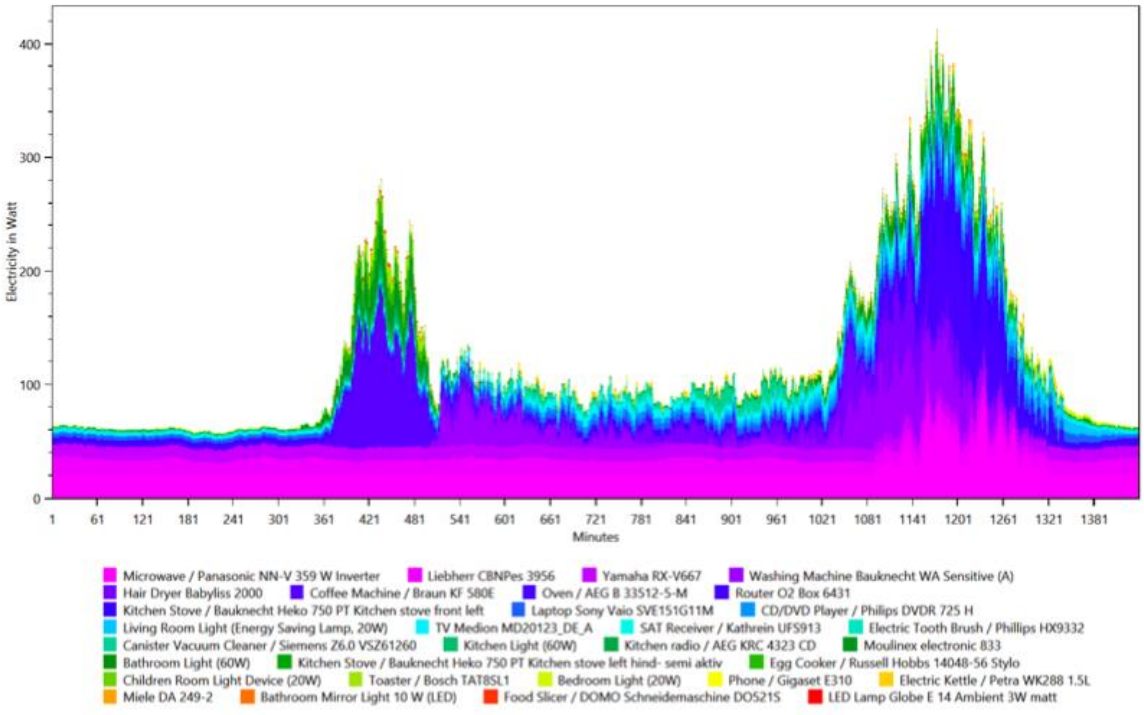


Figura 58 - Energia utilizzata dai device di una donna con bambino con lavoro [80]

Un'altra grande differenza nei consumi è data dal fatto che la donna disoccupata possiede un'asciugatrice, che consuma il 21,6% del totale.

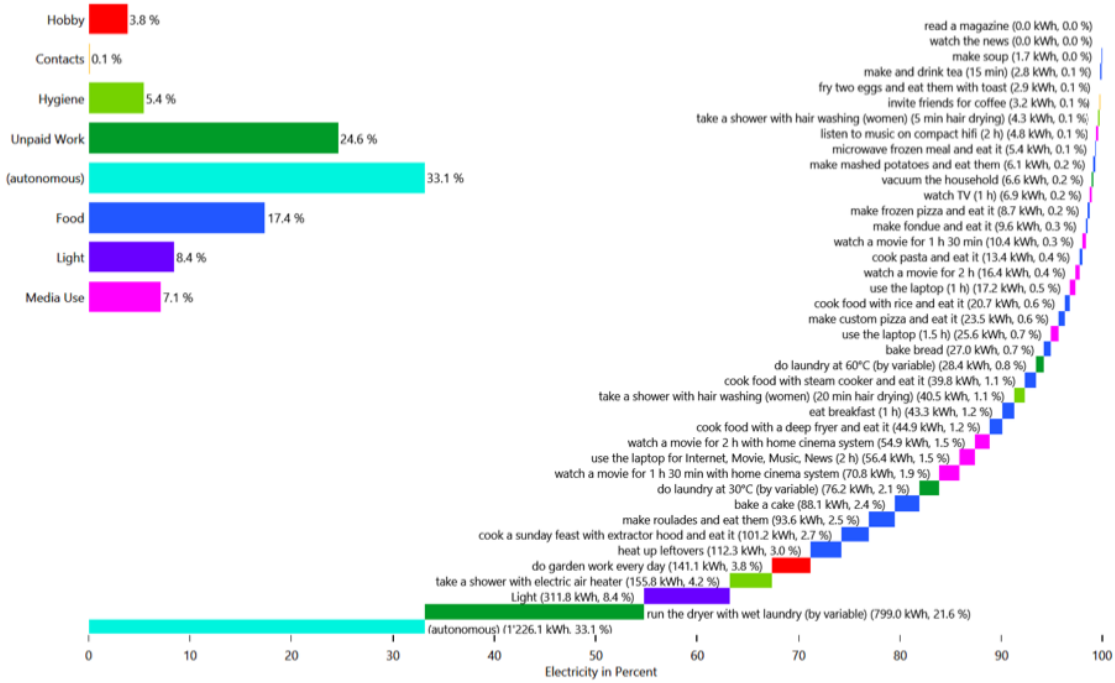


Figura 59 - Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per donna con bambino disoccupata [79]

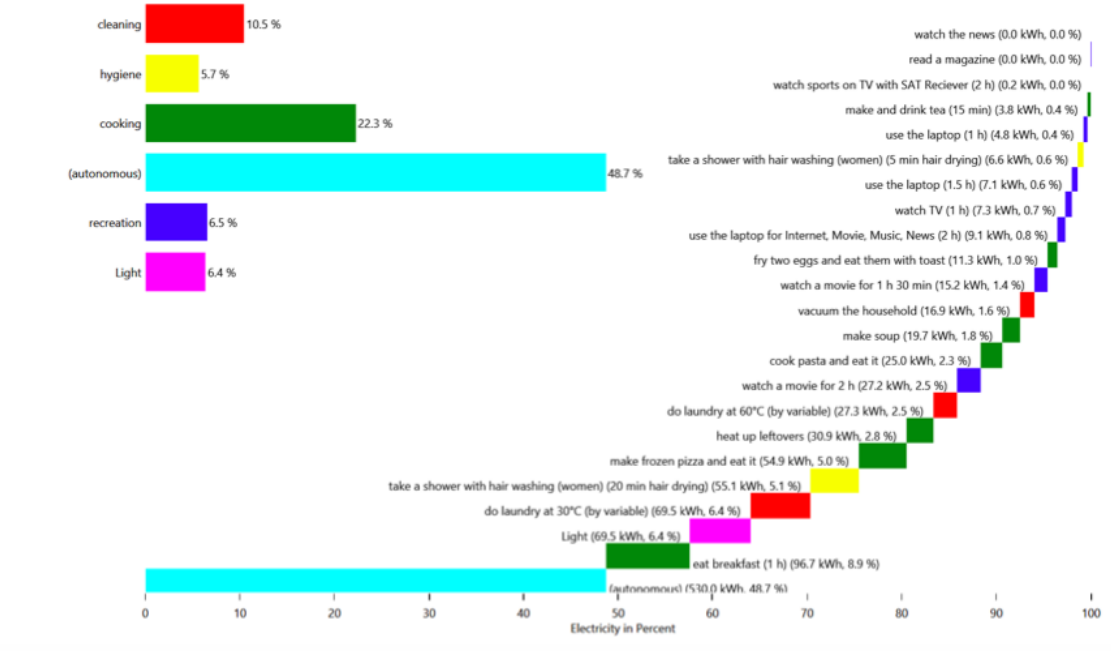


Figura 60 - Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per donna con bambino con lavoro [80]

La curva di carico della donna disoccupata presenta un picco meno marcato a metà mattina, uno all'ora di pranzo, seguito da una valle, e uno all'ora di cena, Di domenica, il consumo è maggiore durante la mattina, mentre si attenua il picco serale.

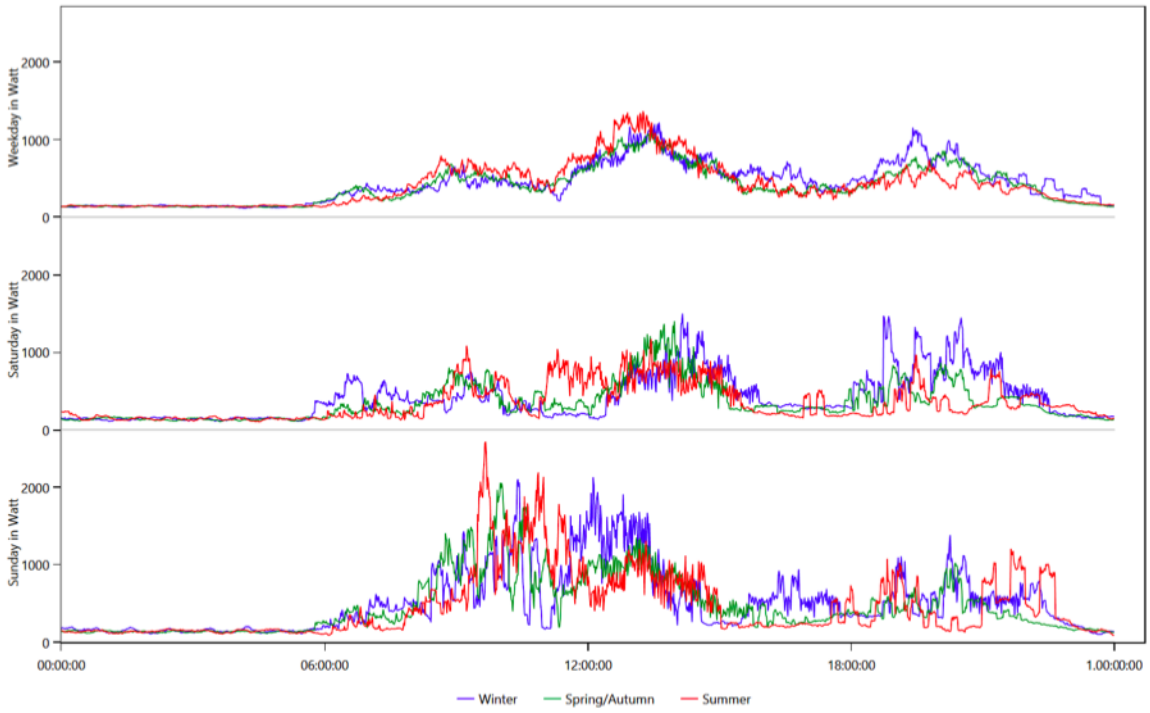


Figura 61 - Curva di carico di una donna con bambino disoccupata [79]

La curva di carico della donna con lavoro presenta valori massimi molto inferiori rispetto al caso di disoccupazione. Durante i giorni infrasettimanali sono presenti due picchi, uno alla mattina e uno alla sera, intervallati dal carico di base. Durante il sabato, si ripresentano i due picchi, ma il carico intermedio appare maggiore. La domenica, il picco del mattino sparisce per lasciare spazio a un consumo più o meno continuo tra le 7 e le 16:00.

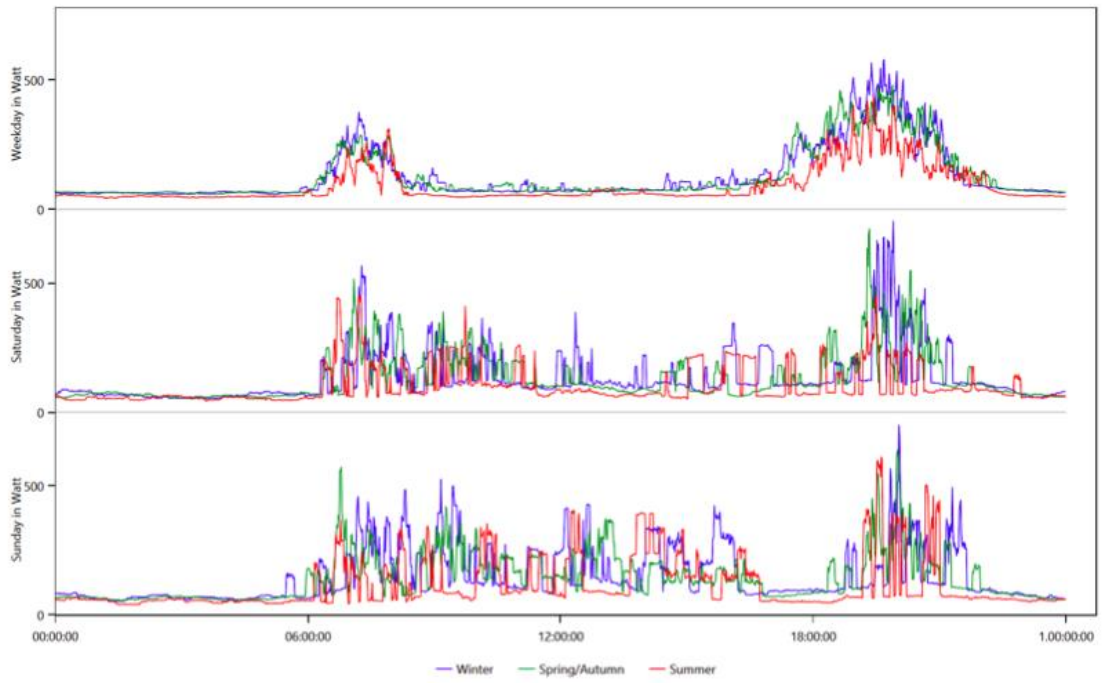


Figura 62 - Curva di carico di una donna con bambino con lavoro [80]

Nel caso di tre utenti, il consumo elettrico totale dovrebbe essere il tipo il triplo di quello medio di un singolo abitante in Italia, cioè 3234 kWh/anno. Si paragonano due utenti: famiglia con un bambino in cui entrambi i genitori lavorano, che ha un consumo di 2.614 kWh/anno, e tre adulti, con consumo di 5.782 kWh/anno. Il carico di base è 614 kWh/anno nel caso dei tre adulti e 361 kWh/anno nel caso della famiglia.

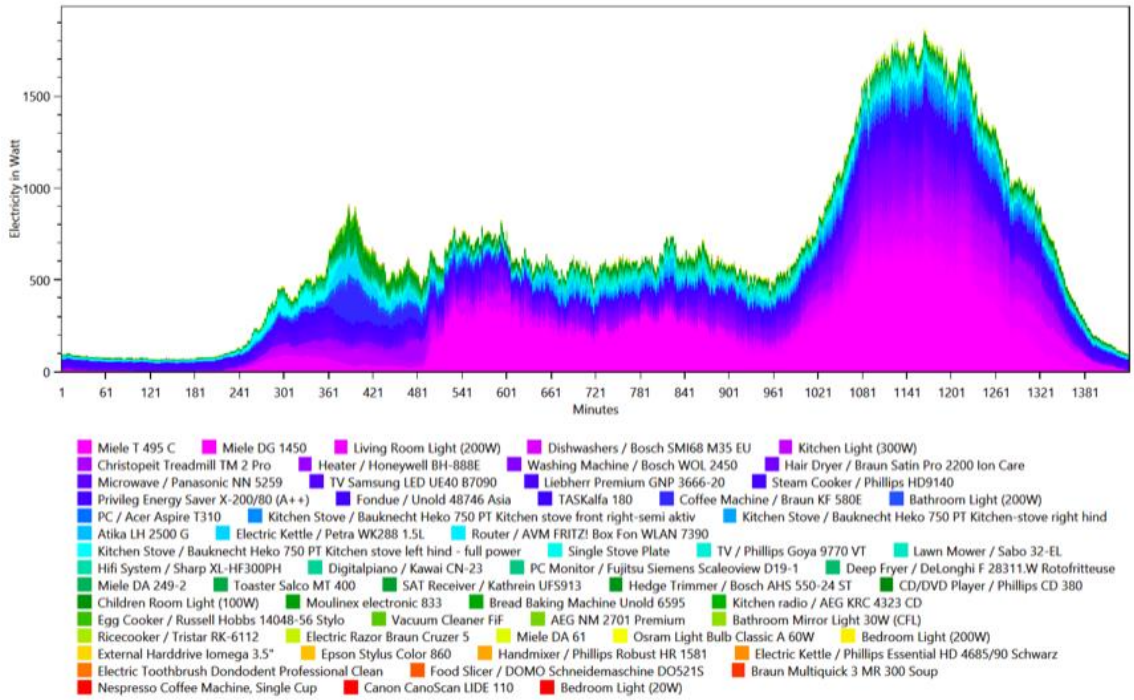


Figura 63 - Energia utilizzata dai device di una famiglia con un bambino entrambi al lavoro [81]

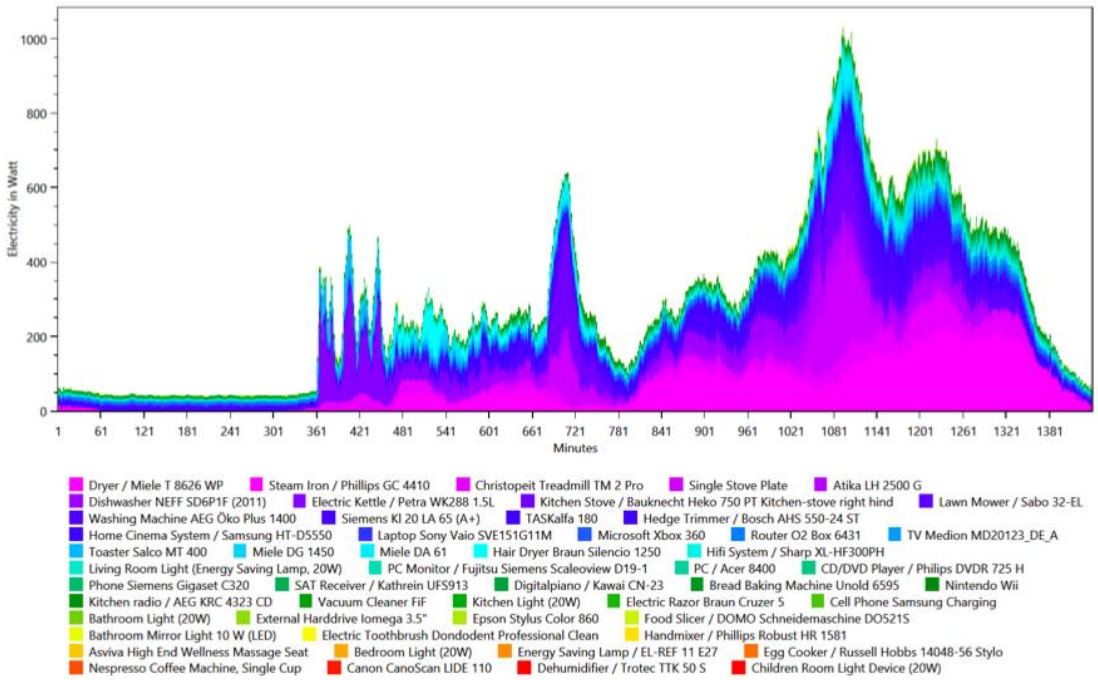


Figura 64 - Energia utilizzata dai device di tre senior [81]

Nella famiglia con un bambino, il consumo maggiore di elettricità in percentuale è rappresentato dal carico di base, seguito dall'attività di giardinaggio e dalla presenza dell'asciugatrice. Nel caso dei tre senior, l'asciugatrice e il consumo delle luci sono maggiori del carico di base.

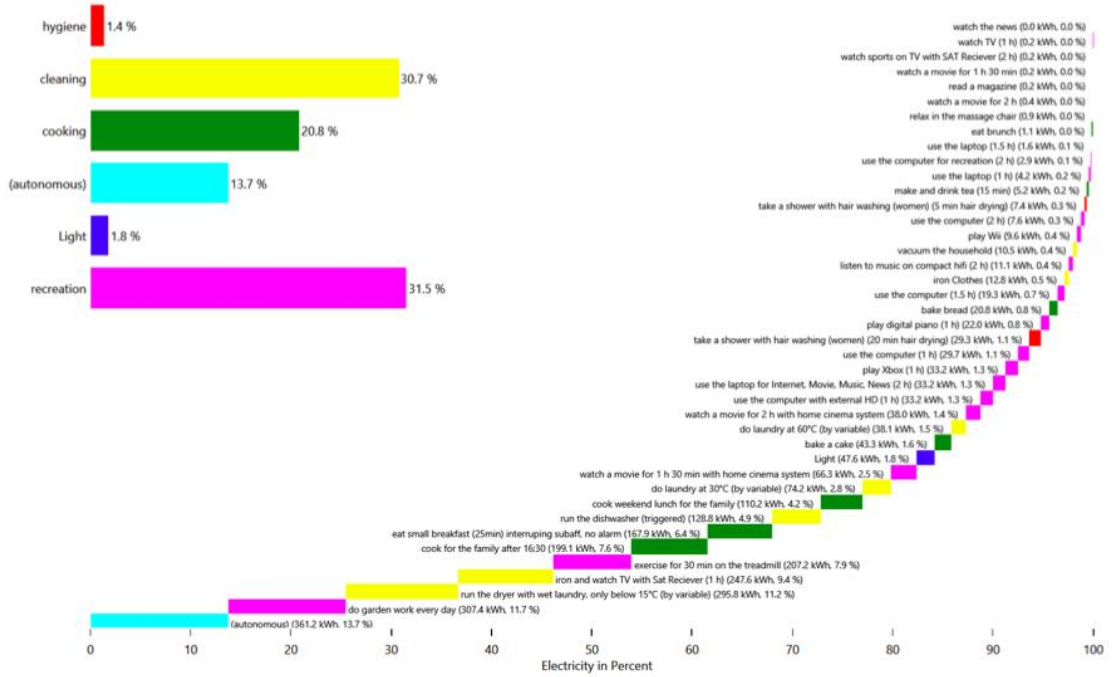


Figura 65 - Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per una famiglia con un bambino entrambi al lavoro [81]

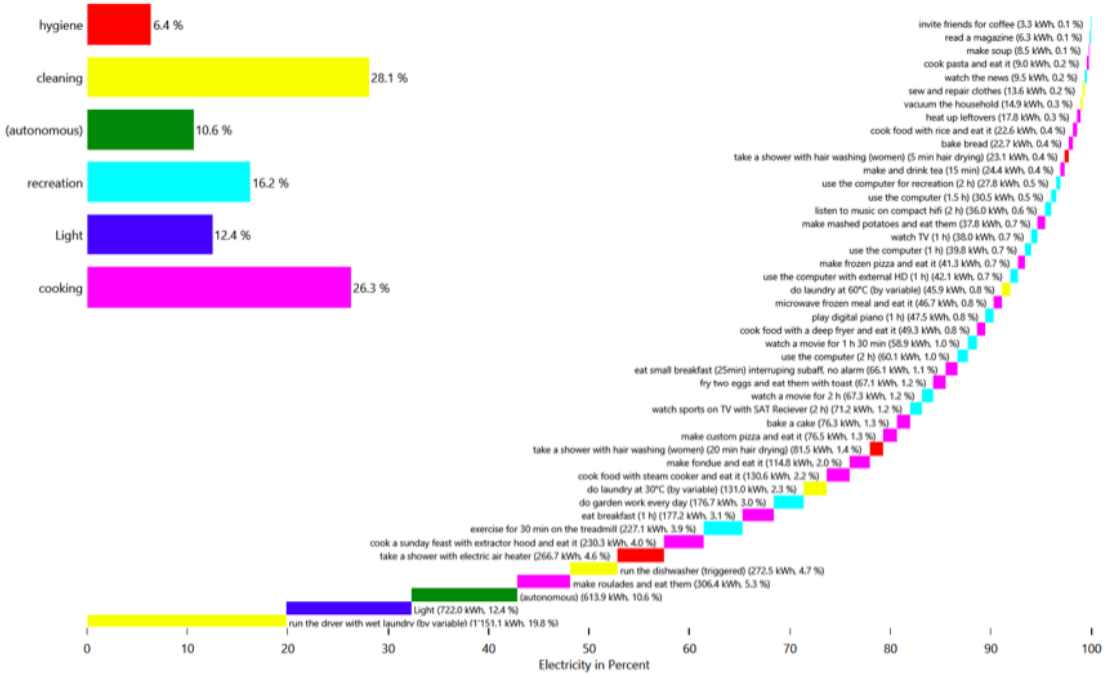


Figura 66 - Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per tre adulti [82]

La curva di carico della famiglia presenta, nei giorni infrasettimanali, un picco poco marcato intorno alle sette del mattino, seguito dal carico di base e un picco più rilevante tra le 18 e 00:00. Il sabato il consumo è più omogeneo: comincia intorno alle sei del mattino, per poi proseguire fino all'una di notte. L'andamento dei consumi di domenica è simile al caso del sabato, con un picco intorno all'ora di pranzo.
La curva di carico dei tre adulti presenta valori massimi maggiori. Nel caso dei giorni infrasettimanali si rileva un primo picco meno rilevante intorno alle sei del mattino e un secondo più marcato intorno alle 19:00. Di sabato, il consumo è più omogeneo e comincia intorno alle sei del mattino, per poi arrivare a un picco intorno a metà della mattina e proseguire fino all'una di notte. L'andamento di domenica è composto da quattro picchi: uno alle 7 del mattino, uno a metà mattina, uno intorno alle due del pomeriggio e uno dopo le 18.

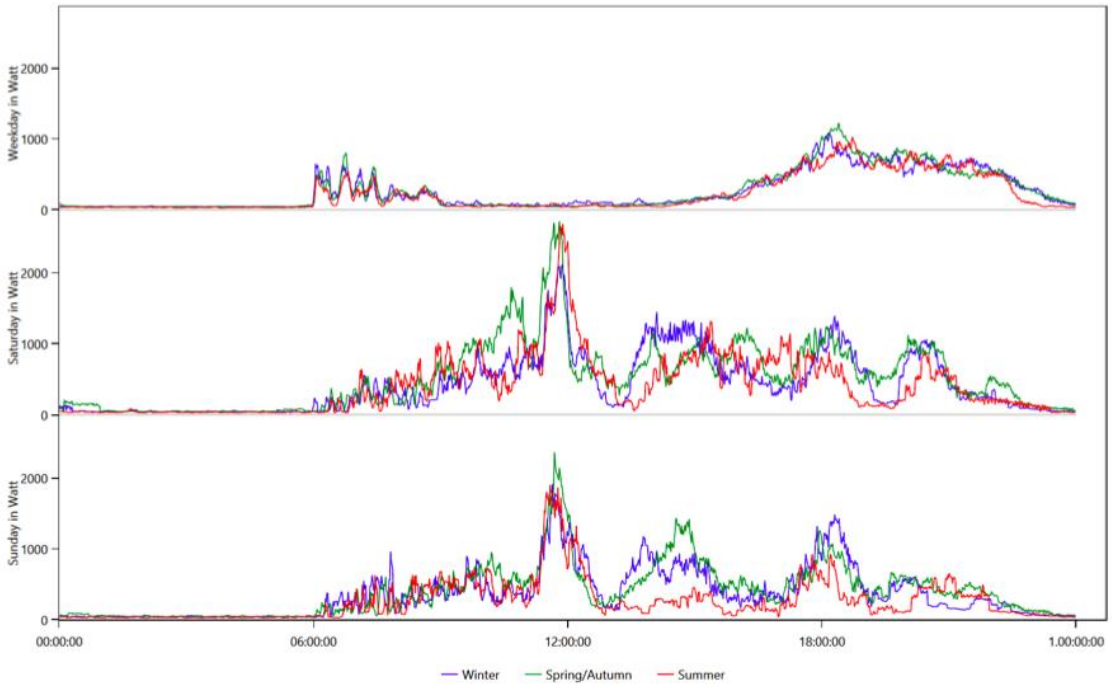


Figura 67 - Curva di carico di una famiglia con un bambino entrambi al lavoro [81]

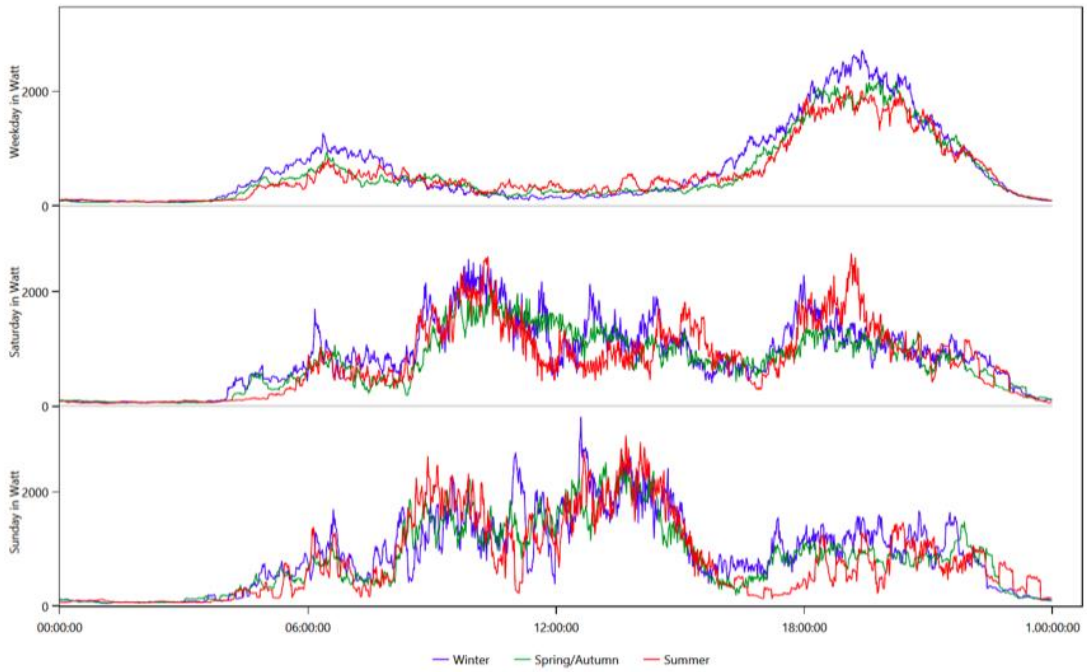


Figura 68 - Curva di carico di tre adulti [82]

Gli utenti che fanno parte della categoria da quattro persone hanno tutti un consumo simile a quello definito da Terna, a parte lo studentato. Per esso il carico autonomo è 542 kWh/anno e rappresenta il 23,5% del consumo elettrico totale; non sono presenti attività "energivore", tanto che la seconda attività per consumo è farsi una doccia con un riscaldatore ad aria. Se si paragona il caso di una famiglia con due bambini con entrambi i genitori disoccupati, si vede che il carico autonomo è circa 340 kWh/anno, valore superiore per la presenza di più apparecchiature in stand-by. Sono inoltre presenti più attività che causano un consumo elettrico, come l'utilizzo dell'asciugatrice e della lavastoviglie.

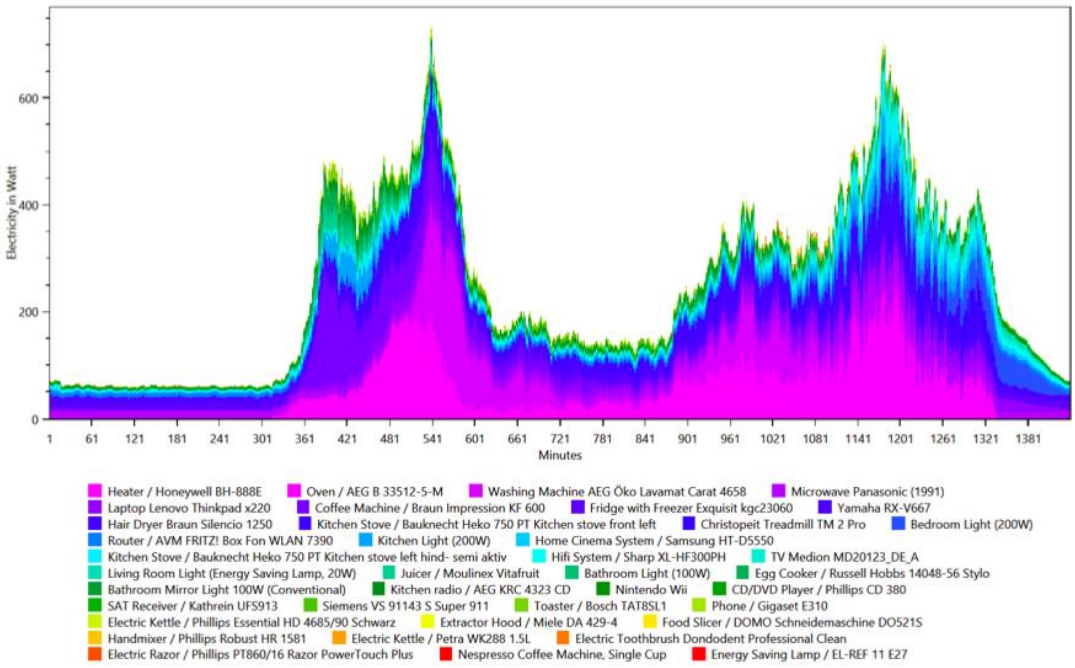


Figura 69 - Energia utilizzata dai device di uno studentato [83]

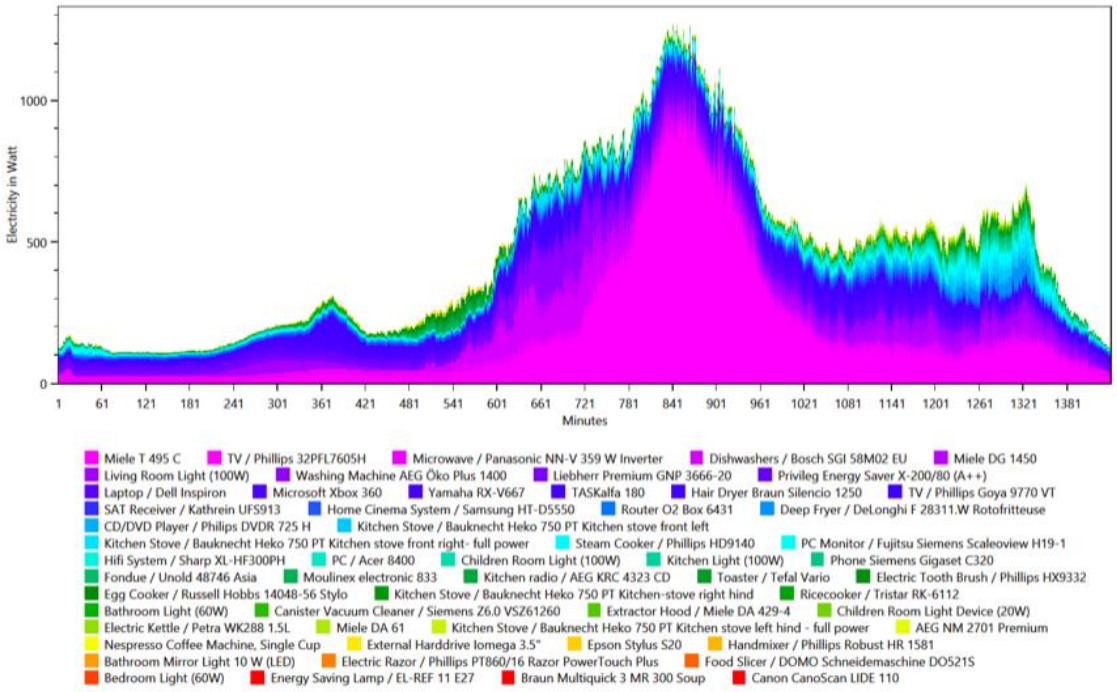


Figura 70 - Energia utilizzata dai device di una famiglia con due bambini con entrambi i genitori disoccupati [84]

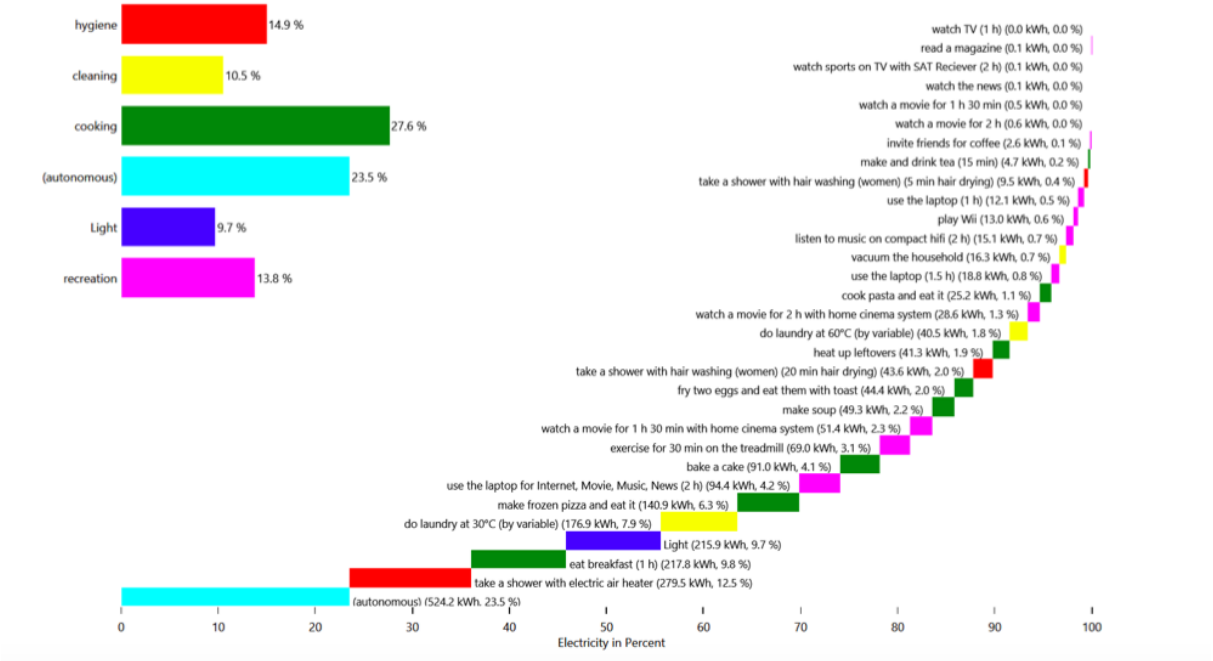


Figura 71 - Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per uno studentato [83]

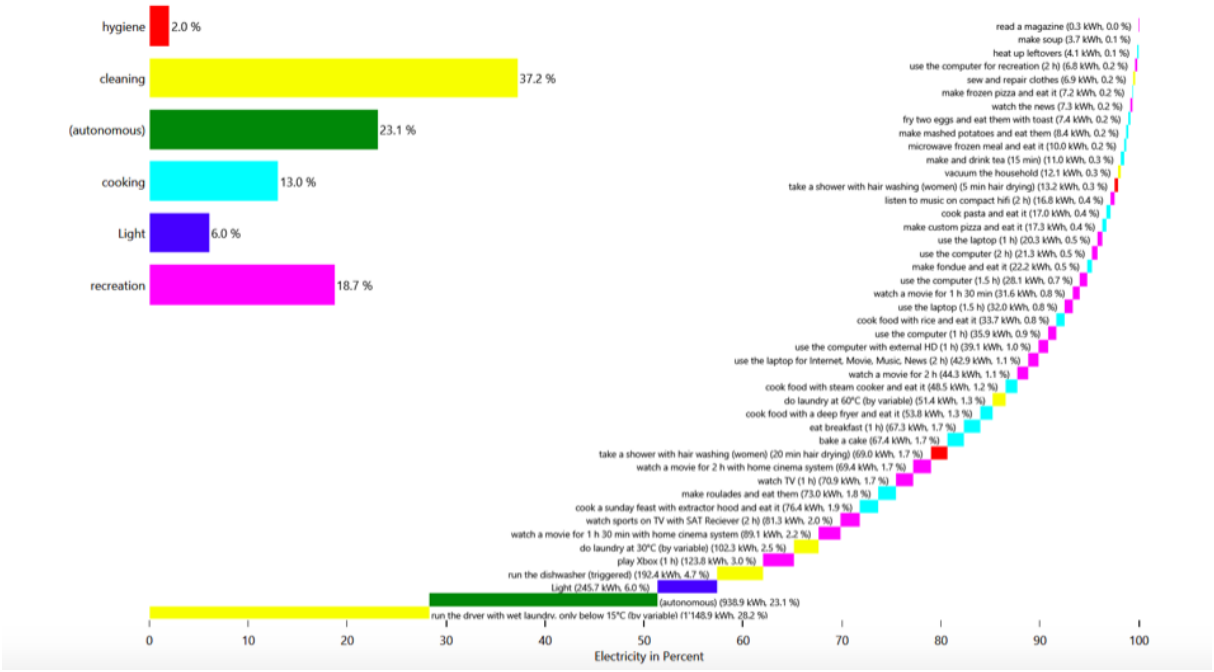


Figura 72 - Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per una famiglia con due bambini con entrambi i genitori disoccupati [84]

La cura di carico dello studentato nei giorni infrasettimanali è composta da due picchi: uno, tra le 6 del mattino e le 9, e uno più ampio intorno all'ora di cena. Il sabato, il picco del mattino diventa più ampio, mentre quello della sera si riduce all'ora di cena. La domenica sono presenti entrambi picchi,e il carico intermedio risulta maggiore rispetto agli altri giorni.

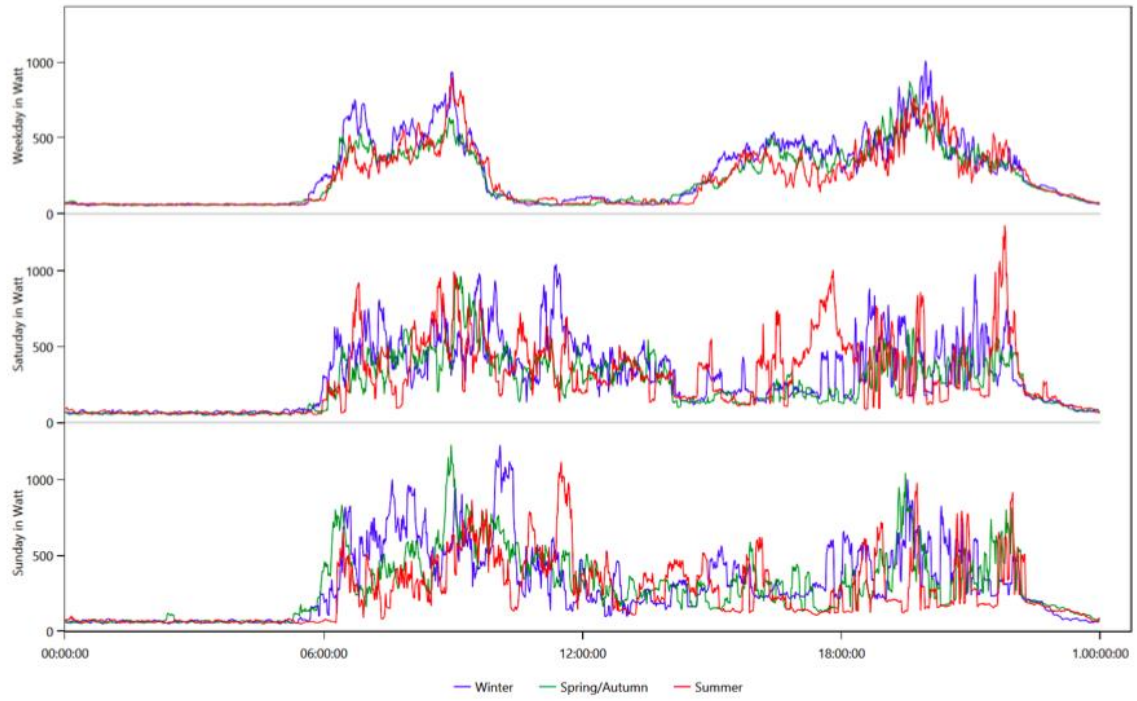


Figura 73 - Curva di carico di uno studentato [83]

Nel caso della famiglia, in un giorno infrasettimanale, la curva di carico presenta un unico picco intorno all'ora di pranzo. Durante il sabato, il consumo inizia intorno a metà della mattina, per poi trovare un massimo intorno all'ora di pranzo e diminuire lentamente fino a notte. Di domenica, il consumo mantiene l'andamento degli altri giorni, ma il picco risulta più marcato. I valori massimi risultano maggiori rispetto al caso dello studentato.

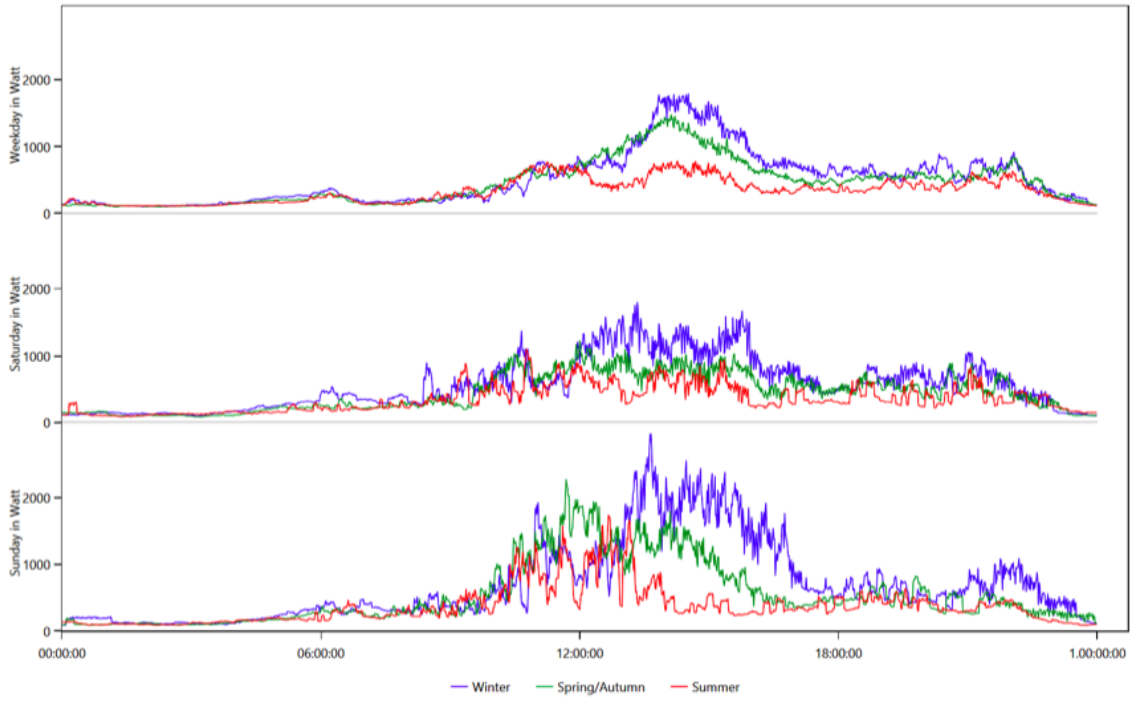


Figura 74 - Curva di carico di una famiglia con due bambini, genitori disoccupati [84]

Nel caso dei cinque o più utenti, i consumi che appaiono più lontani da quelli predetti da Terna sono quelli di una famiglia con tre bambini entrambi i genitori al lavoro e una famiglia con due bambini e due senior. Nel primo caso, il carico di base è di circa 970 kWh/anno, contro gli 880 kWh/anno del secondo caso. Le attività che consumano più energia sono, in ordine, nel caso della famiglia con due senior, l'utilizzo dell'asciugatrice, il carico autonomo e la lavastoviglie, mentre nel caso dei tre bambini, il carico autonomo, l'asciugatrice, le luci e la lavastoviglie.

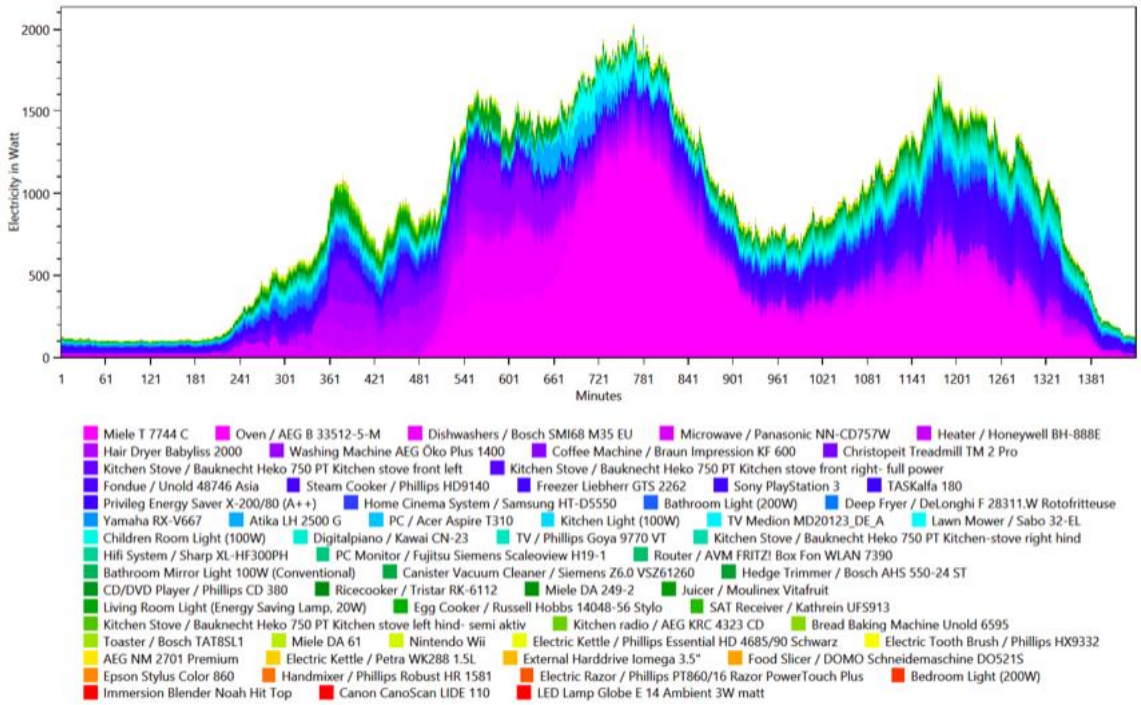


Figura 75 - Energia utilizzata dai device di una famiglia con due bambini e due anziani [85]

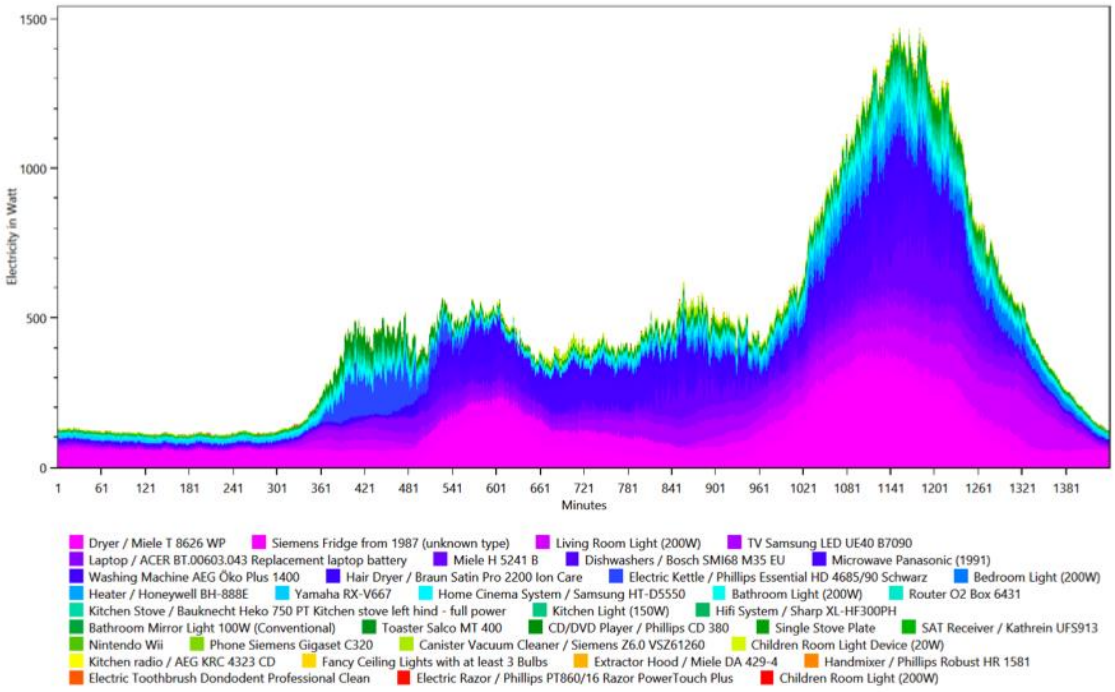


Figura 76 - Energia utilizzata dai device di una famiglia con tre bambini [86]

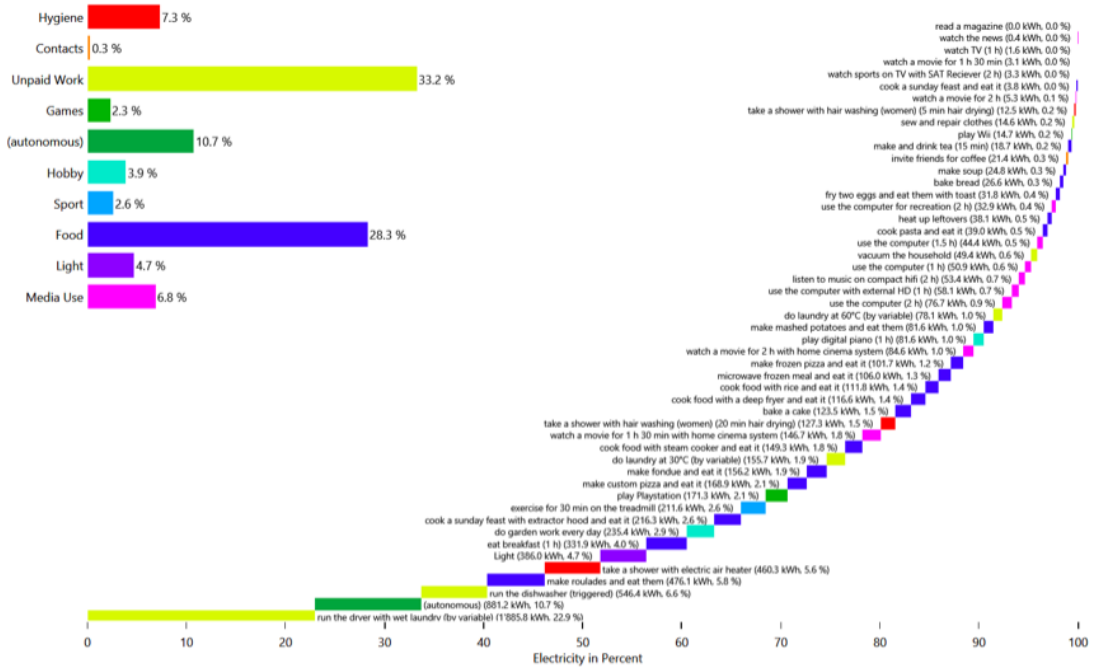


Figura 77 - Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per una famiglia con due bambini e due senior [85]

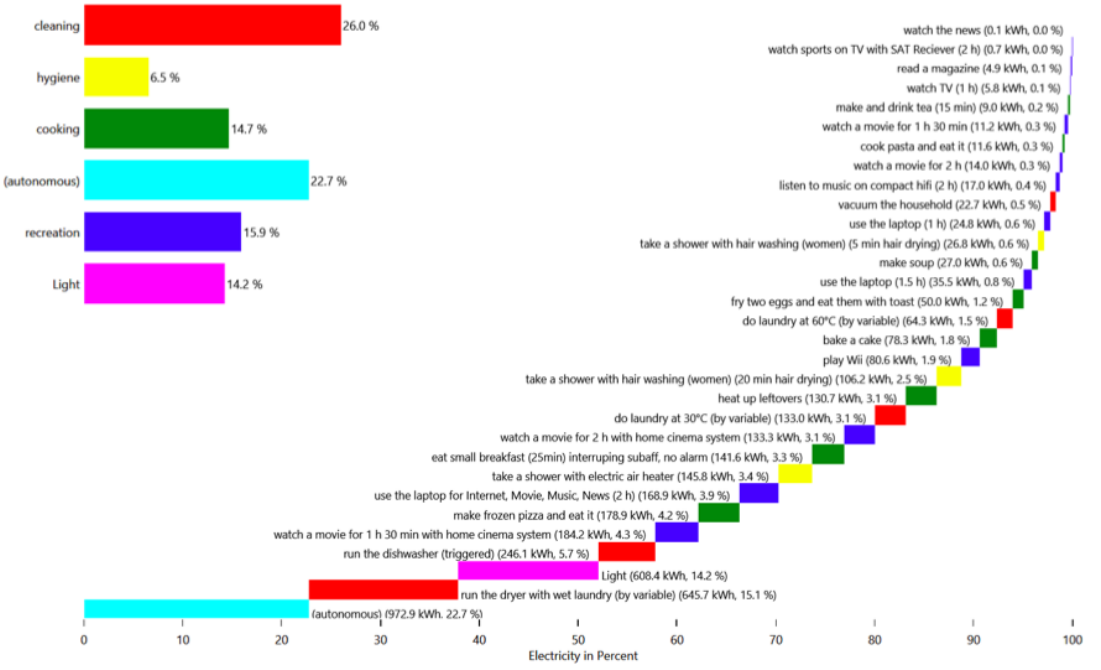


Figura 78 - Percentuale di utilizzo dell'energia elettrica nei vari settori per una famiglia con tre bambini [86]

La curva di carico della famiglia con i due anziani presenta, nei giorni infrasettimanali, un carico crescente a partire dalle 5 del mattino fino al picco dell'ora di pranzo, seguito da una valle e da un picco intorno all'ora di cena. Nel caso del sabato, l'andamento si mantiene costante, ma il carico del mattino diventa più marcato. Di domenica i picchi crescono ancora.

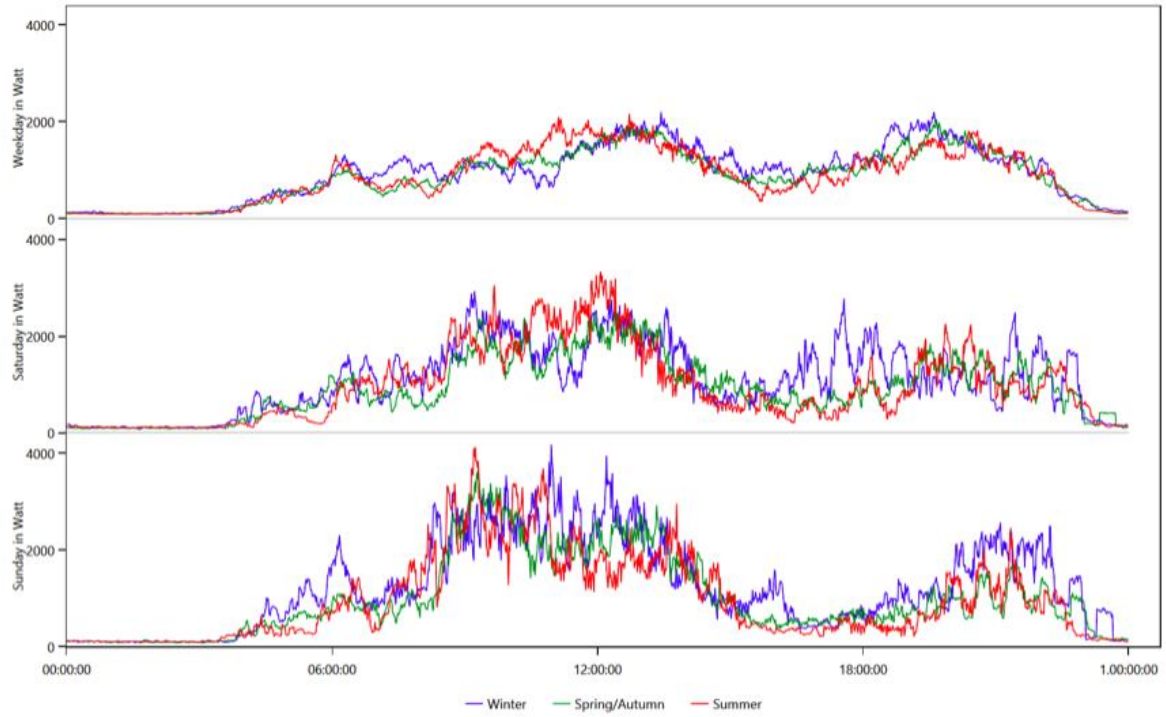


Figura 79 - Curva di carico di una famiglia con due bambini e due senior [85]

Nel caso della famiglia con i due bambini, l'andamento nei giorni infrasettimanali prevede un carico molto minore durante le ore del giorno, con un picco più rilevante all'ora di cena. Nel weekend, è presente, oltre al picco serale, anche un massimo intorno a metà mattina.

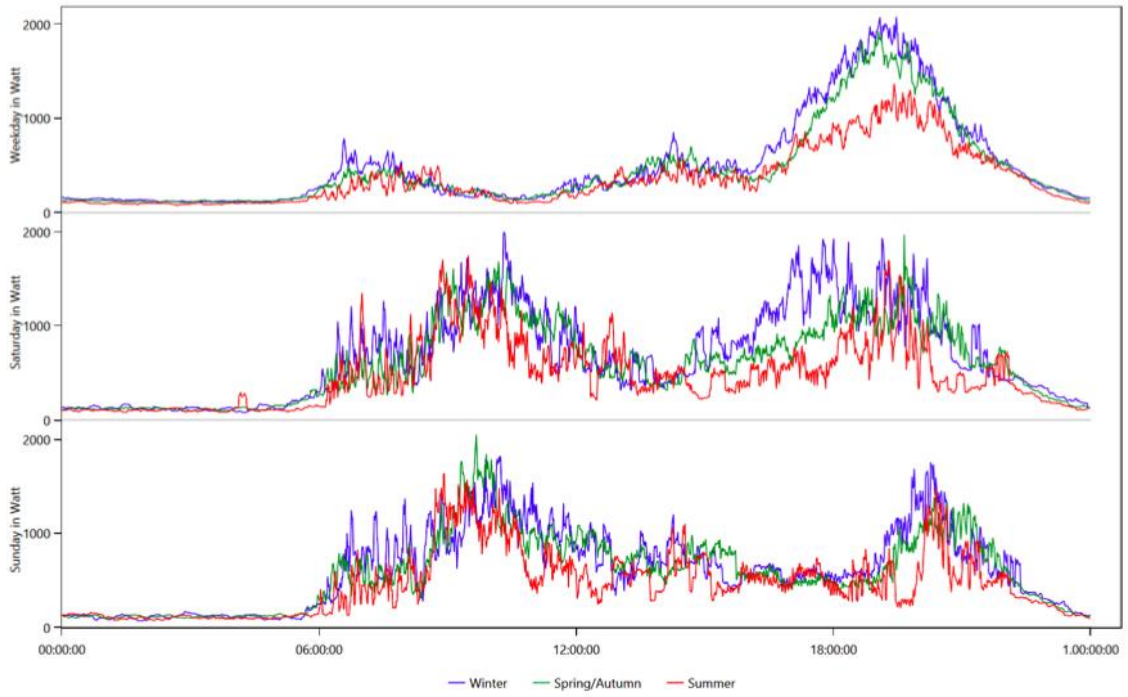


Figura 80 - Curva di carico di una famiglia con tre bambini, genitori disoccupati [86]

Domande poste all'utente e metodo per la costruzione della curva di carico

Una volta definite le quaranta curve di carico che differiscono per gli aspetti sociodemografici, si analizzano gli input da richiedere all'utente e la metodologia con cui utilizzarli per ottenere consumi il più possibile rappresentativi della realtà.
A pagina 54 di questo lavoro di tesi, sono stati identificati i fattori determinanti per la variazione del consumo elettrico, definiti dallo studio "The determinants of residential energy expenditure in Italy"; tra questi, tralasciando gli aspetti sociodemografici, già inclusi nei carichi iniziali, sono stati selezionati quelli che incidono in maniera più significativa sul consumo. La scelta di non includere tutti gli indicatori deriva dall'intenzione di rendere la piattaforma il più semplice e fruibile possibile, riducendo il numero di input iniziali da richiedere all'utente.

I fattori selezionati sono:

- Presenza di una lavastoviglie o aria condizionata;
- Riscaldamento elettrico;
- Caratteristiche dell'edificio;
- Grandezza dell'edificio;
- Tipo di municipalità;
- Locazione.

Le curve di carico derivate da Load Profile Generator sono state associate alla condizione più comune tra i dati dello studio, che coincide con:

- Assenza di lavatrice e di aria condizionata;
- Connessione alla rete del gas;
- Superficie di 98 m^2;
- Appartamento in un edificio con meno di dieci appartamenti;
- Locazione nel centro Italia.

Presenza di una lavastoviglie, caratteristiche e grandezza dell'edificio, tipo di municipalità e locazione

Quando le risposte dell'utente si discostano delle condizioni di riferimento, la curva di carico viene modificata. Per alcuni fattori, come la variazione della superficie, le caratteristiche dell'edificio, la presenza della lavastoviglie e la locazione, si è scelto di ripartire in modo continuo la variazione causata. La nuova curva di carico si ottiene, allora, aggiungendo alla curva preesistente il cambiamento nei consumi causato dall'indicatore, ottenuto moltiplicando i valori orari della curva per la percentuale di variazione. Ad esempio, nel caso in cui è presente la lavastoviglie, il consumo energetico pro-capite annuale aumenta dell'8,18%; la nuova curva diventa:

Equazione 1 - Variazione della curva di carico degli utenti residenziali

$$Nuova\ curva, h = Curva\ tipologica, h * (1 + 8{,}18\%)$$

Riscaldamento elettrico

La presenza del riscaldamento elettrico prevede l'utilizzo di una pompa di calore per soddisfare il fabbisogno invernale e di acqua calda sanitaria (ACS).
Esso viene identificato, nel caso di un condominio, partendo dai risultati dello "Studio comparativo tra fabbisogni energetici netti, lato edificio, sia per la climatizzazione estiva che per quella invernale di edifici residenziali e del settore terziario situati in climi differenti" realizzato da ENEA. Considerando un edificio tipo, composto da tre piani con altezza interpiano di 3 m e quattro unità abitative di superficie calpestabile pari a circa 94 m², elevate prestazioni di isolamento termico e tre tipologie di clima, Milano Roma e Palermo, si ottengono il fabbisogno invernale, estivo e di ACS, a seconda delle temperature di set point invernali ed estive, dell'umidità relativa e dei carichi interni. Realizzando una media dei valori, si ottiene:

- **Per il clima di Milano**: un fabbisogno invernale di 45 kWh/m^2, un fabbisogno estivo di 14 kWh/m^2 e uno di ACS di 17 kWh/m^2;
- **Per il clima di Roma**: un fabbisogno invernale di 17 kWh/m^2, un fabbisogno estivo di 27 kWh/m^2 e uno di ACS di 17 kWh/m^2;
- **Per il clima di Palermo**: un fabbisogno invernale di 6 kWh/m^2, un fabbisogno estivo di 43 kWh/m^2 e uno di ACS di 17 kWh/m^2.

Il fabbisogno termico soddisfatto dalla pompa di calore viene, quindi, derivato moltiplicando i valori definiti dallo studio per il fabbisogno invernale e di ACS, in base alla zona della locazione, per la superficie inserita dall'utente. Per semplicità, si è scelto di identificare il fabbisogno termico del Nord-Ovest e Nord- Est con quello di Milano, quello del Centro e della Sardegna con quello di Roma e quello del Sud e Sicilia con quello di Palermo.
Nel caso di una villa, si considera, invece, il fabbisogno termico annuo di 10.000 kWh, suddivisi nel 70% per il riscaldamento e il 30% per l'acqua per uso domestico.

Ad esempio, nel caso di un appartamento di 100 m² inserito in un condominio, nel Comune di Milano, il fabbisogno della pompa di calore si calcola come:

Equazione 2 - Esempio di calcolo di fabbisogno invernale di un condominio a Milano

$$Fabbisogno\ invernale = 45 \frac{kWh}{m^2} * 100\ m^2 = 4.500\ kWh$$

Equazione 3 - Esempio di calcolo di un fabbisogno di ACS in un condominio a Milano

$$Fabbisogno\ ACS = 17 \frac{kWh}{m^2} * 100\ m^2 = 1.700\ kWh$$

La somma del fabbisogno invernale e di ACS viene suddivisa per il COP, per semplicità considerato coincidente con il SCOP e si ottiene il fabbisogno di energia elettrica per il riscaldamento e l'ACS:

Equazione 4 - Esempio di calcolo del fabbisogno di energia elettrica per riscaldamento e ACS in un condominio a Milano

$$Fabbisogno\ di\ energia\ elettrica_{Riscaldamento\ e\ ACS} = \left(4.500\,\frac{kWh}{anno} + 1.700\,\frac{kWh}{anno}\right) : 2{,}88 = 2.153\,\frac{kWh}{anno}$$

Si considera una pompa di calore ad aria-acqua, per cui si utilizza il valore del COP, definito secondo la norma EN 14.511, del modello seguente.

AWR-MTD1			0021	0031	0041	0051	0041	0051	0061
Alimentazione elettrica		V/ph/Hz	230/1/50	230/1/50	230/1/50	230/1/50	400/3/50	400/3/50	400/3/50
APPLICAZIONE TERMINALI IDRONICI									
REFRIGERAZIONE (GROSS VALUE)									
Potenza frigorifera	(1)	kW	5,10	7,80	9,90	10,5	10,3	11,9	13,9
Potenza assorbita totale	(1)	kW	2,00	3,30	3,90	3,80	4,00	4,50	5,00
EER	(1)		2,55	2,36	2,54	2,76	2,58	2,64	2,78
ESEER	(1)		3,15	2,98	3,06	3,37	3,20	3,25	3,38
REFRIGERAZIONE (EN14511 VALUE)									
Potenza frigorifera	(1)(2)	kW	5,10	7,80	9,94	10,5	10,3	11,9	13,9
EER	(1)(2)		2,41	2,29	2,42	2,63	2,45	2,54	2,69
ESEER	(1)(2)		2,94	2,86	2,88	3,17	3,01	3,09	3,25
Classe EUROVENT			E	F	E	D	E	D	D
RISCALDAMENTO (GROSS VALUE)									
Potenza termica	(3)	kW	6,80	10,1	12,7	13,1	13,0	14,6	17,0
Potenza assorbita totale	(3)	kW	2,20	3,30	4,20	4,00	4,40	4,70	5,00
COP	(3)		3,09	3,06	3,02	3,28	2,95	3,11	3,40
RISCALDAMENTO (EN14511 VALUE)									
Potenza termica	(3)(2)	kW	6,81	10,1	12,7	13,1	13,0	14,6	17,0
COP	(3)(2)		2,94	2,96	2,88	3,12	2,82	2,98	3,28
Classe EUROVENT			C	C	C	B	C	C	A
SCAMBIATORI									
SCAMBIATORE UTENZA IN REFRIGERAZIONE									
Portata	(1)	m³/h	0,88	1,34	1,70	1,81	1,77	2,05	2,39
Perdita di carico	(1)	kPa	17,5	25,1	23,1	21,9	25,8	28,0	26,8
SCAMBIATORE UTENZA IN RISCALDAMENTO									
Portata	(3)	m³/h	1,18	1,76	2,21	2,28	2,26	2,54	2,95
Perdita di carico	(3)	kPa	31,6	42,9	38,8	34,7	41,9	42,9	40,8
COMPRESSORI									
N. compressori		N°	1	1	1	1	1	1	1
N. Circuiti		N°	1	2	1	1	1	1	1
LIVELLI SONORI									
Potenza sonora	(4)	dB(A)	66	66	69	69	69	69	69
Pressione sonora	(5)	dB(A)	52	52	54	54	54	54	54
DIMENSIONI E PESI									
A	(6)	mm	900	900	900	900	900	900	900
B	(6)	mm	370	370	370	370	370	370	420
H	(6)	mm	640	940	1240	1240	1240	1240	1390
Peso in funzionamento	(6)	kg	95	115	140	160	140	160	170

1 Acqua scambiatore freddo lato utenza (in/out) 12°C/7°C; Aria scambiatore lato sorgente (in) 35°C
2 Valori riferiti alla normativa EN14511-3:2011
3 Acqua scambiatore caldo lato utenza (in/out) 40°C/45°C; Aria scambiatore lato sorgente (in) 7°C - U.R. 87%

Figura 81- Prestazione di una pompa di calore aria-acqua [87]

Il fabbisogno elettrico per riscaldamento e ACS, definito in base all'utenza, viene utilizzato per scalare la curva di carico fornita dal software Polysun, per una pompa di calore aria-acqua di un edificio plurifamiliare ristrutturato.

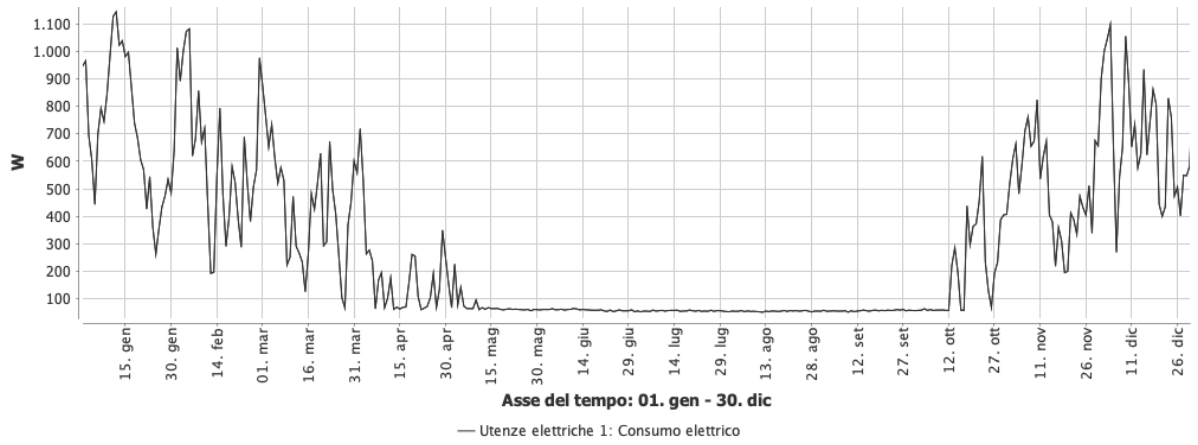


Figura 82 – Curva di carico di una pompa di calore per un edificio ristrutturato

Nel caso in cui la pompa di calore venga utilizzata anche per il raffrescamento estivo, si seleziona la voce aria condizionata, che permette di aggiungere alla curva di carico invernale quella per il soddisfacimento del carico termico estivo.

Aria condizionata

La presenza di aria condizionata causa un aumento del consumo pro-capite annuo del 9,8%, secondo "The determinants of residential energy expenditure in Italy".
Questa variazione viene suddivisa nella stagione di raffrescamento, definita dallo studio "Definizioni delle zone climatiche estive e della durata della stagione di climatizzazione estiva per gli edifici residenziali nel territorio italiano attraverso la metodologia dell'indice di severità climatica ENEA". La penisola italiana viene suddivisa in cinque zone climatiche estive:

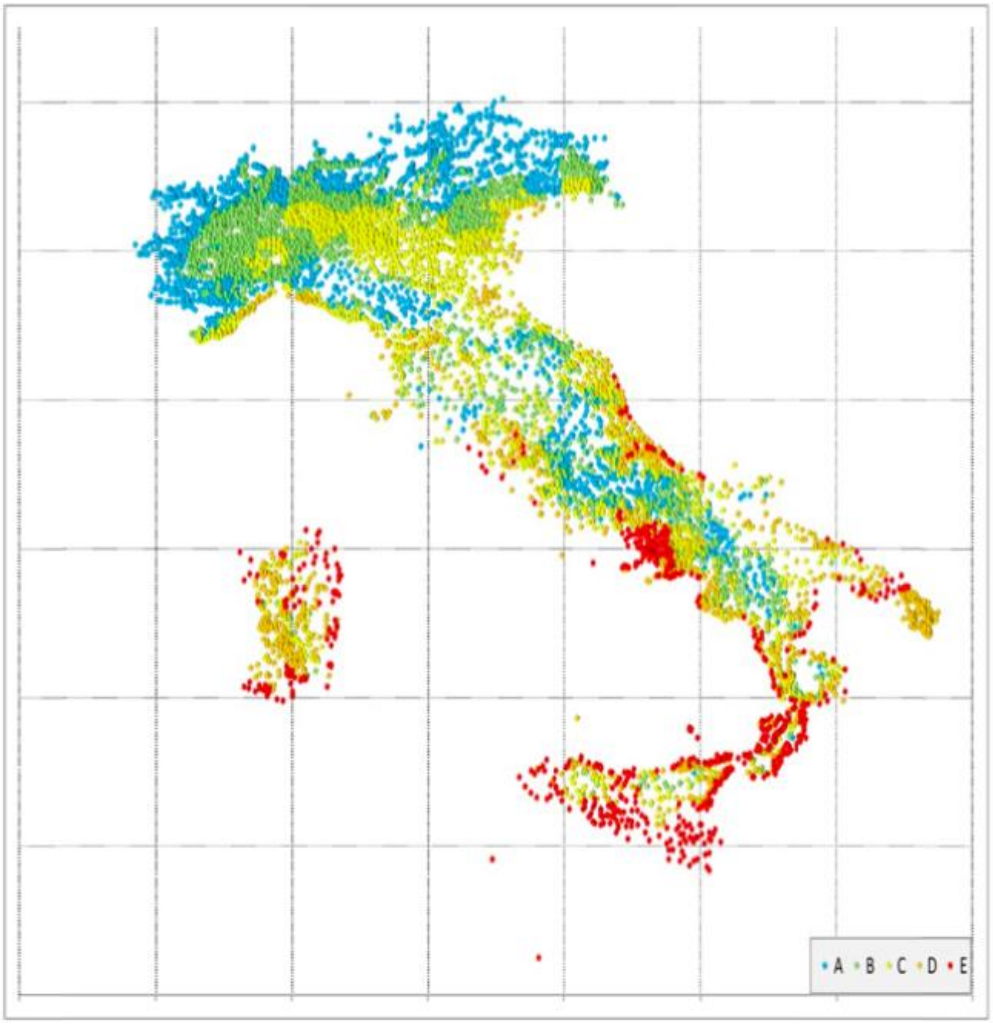


Figura 83 – Zone climatiche estive italiane

La durata della stagione di raffrescamento e il numero di comuni associati ad ogni zona viene riassunto nella tabella 3:

Tabella 3 - Zone climatiche italiane e numero di comuni associato

ZONA	DATA INIZIO	DATA FINE	NUMERO COMUNI
A	terza giugno	quarta agosto	2228
B	prima giugno	prima settembre	2417
C	terza maggio	prima settembre	1729
D	terza maggio	prima settembre	1055
E	terza maggio	seconda settembre	664

Le classi A, B e C racchiudono quasi la totalità dei comuni italiani (78,8%).

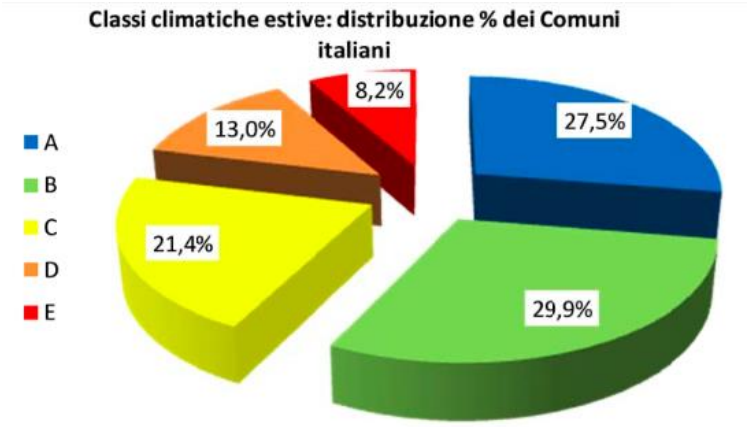


Figura 84 – Distribuzione dei comuni italiani nelle classi climatiche estive

Per semplicità, si decide di considerare la stagione estiva più comune, cioè quella coincidente con la zona B, e ripartire la variazione apportata dal raffrescamento, ottenuta moltiplicando la percentuale definita dall'indice per il consumo medio di una famiglia, equamente in tutte le ore del giorno della stagione di raffrescamento.
Questa approssimazione deriva dal fatto che non è stato possibile identificare una curva di carico per il raffrescamento più realistica. Una futura implementazione potrà includere l'utilizzo di una curva più precisa.

Commerciale

Per la definizione dei carichi commerciali, ci si riferisce a quelli introdotti dal Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS) dell'Eia. Rientrano nello studio tutti gli edifici che hanno almeno la metà della superficie non utilizzata per un uso residenziale, industriale o agricolo; seguendo questa definizione, vengono inclusi, oltre alle costruzioni

tradizionalmente riconosciute come commerciali, tra cui negozi, ristoranti e uffici, anche spazi che potrebbero non essere visti come tali, tra cui scuole, ospedali e edifici religiosi. Gli edifici commerciali vengono, allora, suddivisi in categorie in funzione dell'attività:

- Educazione,
- Vendita di cibo,
- Servizi legati al cibo,
- Salute,
- Uffici,
- Alloggio,
- Mercantile,
- Ritrovo pubblico,
- Religiosi,
- Servizi,
- Magazzini,
- Altri.

Non avendo a disposizione consumi derivati dal monitoraggio di utenze reali, si utilizzano le curve di carico messe a disposizione dal software Polysun, che fornisce i valori relativi agli uffici, ai negozi e agli alberghi. Gli altri edifici commerciali, di cui non si ha a disposizione la curva di carico, non vengono compresi nell'analisi. Un'implementazione futura potrebbe includere un numero più ampio di edifici commerciali.

Uffici

Si analizza la curva di carico degli uffici, calibrata per un consumo annuo di 2.700 kWh/anno. Il carico risulta essere diverso da quello di base nei giorni infrasettimanali, dalle 7:00 alle 19:00. La curva ha un andamento più o meno costante nel tempo, in cui si identificano un primo picco alle 8:00 e un secondo meno marcato alle 14:00.

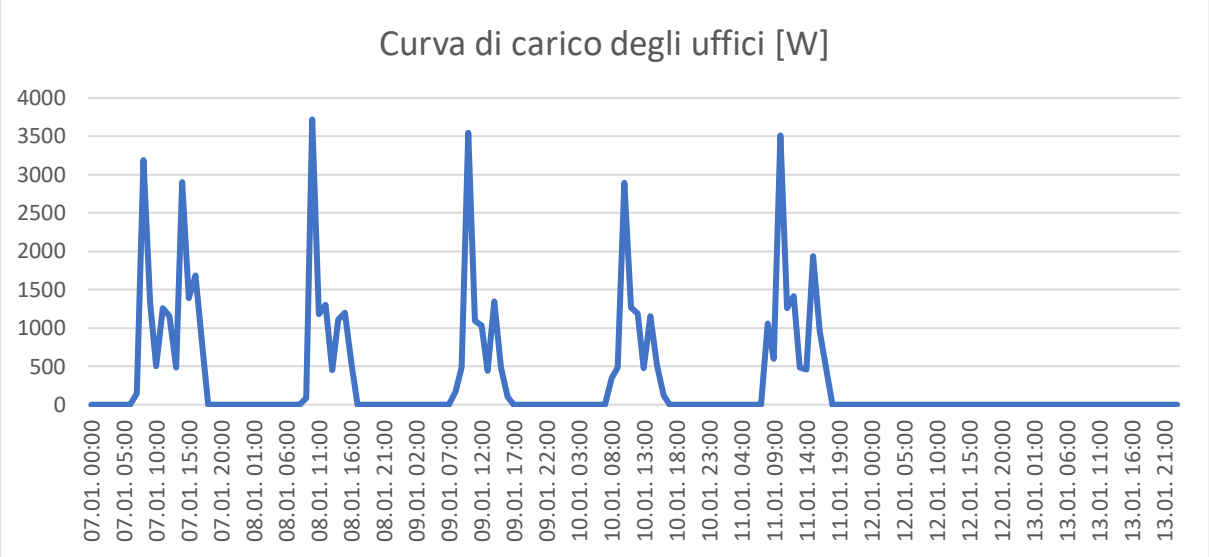


Figura 85– Andamento della curva di carico per uffici di Polysun

Per definire i consumi elettrici degli uffici in funzione della metratura, ci si riferisce al report di ENEA "Benchmark di consumo energetico degli uffici in Italia", in cui viene definito l'IPE, cioè il consumo elettrico in kWh al m^2, di un ufficio in Italia. Esso varia in funzione della località considerata e diventa:

Tabella 4 – Consumo degli uffici italiani, ENEA

ZONA	SUPERFICIE MINIMA [m^2]	SUPERFICIE MASSIMA [m^2]	IPE [kWh/m^2]
NORD ITALIA	500	60.700	155,51 ± 142,13
CENTRO ITALIA	800	95.700	108,76 ± 61,30
SUD ITALIA	2.900	20.100	115,89 ± 56,20

Si procede a realizzare una media tra gli IPE delle diverse zone e si ottiene un consumo elettrico di 126,7 kWh/(m^2*anno).
La curva di carico di un ufficio si ottiene, allora, moltiplicando quella che ha come consumo totale 126,7 kWh/anno per la metratura introdotta dall'utente.

Negozi
Polysun fornisce quattro tipologie di attività commerciale:

1) **Attività commerciale 1**: apertura in settimana dalle 8:00 alle 18:00, chiusura infrasettimanale e nel weekend. Sono presenti due picchi, uno al mattino e uno nel primo pomeriggio;

Figura 86 – Curva di carico dell'attività commerciale 1

2) **Attività commerciale 2**: apertura durante tutti i giorni della settimana, prevalentemente nelle ore serali; sono presenti due picchi, uno all'ora di pranzo e uno alla sera;

Figura 87 - Curva di carico dell'attività commerciale 2

3) **Attività commerciale 3**: apertura durante la settimana e nel weekend; una chiusura infrasettimanale e una nel fine settimana. Orario continuato, con picchi alle 12:00 e alle 17:00;

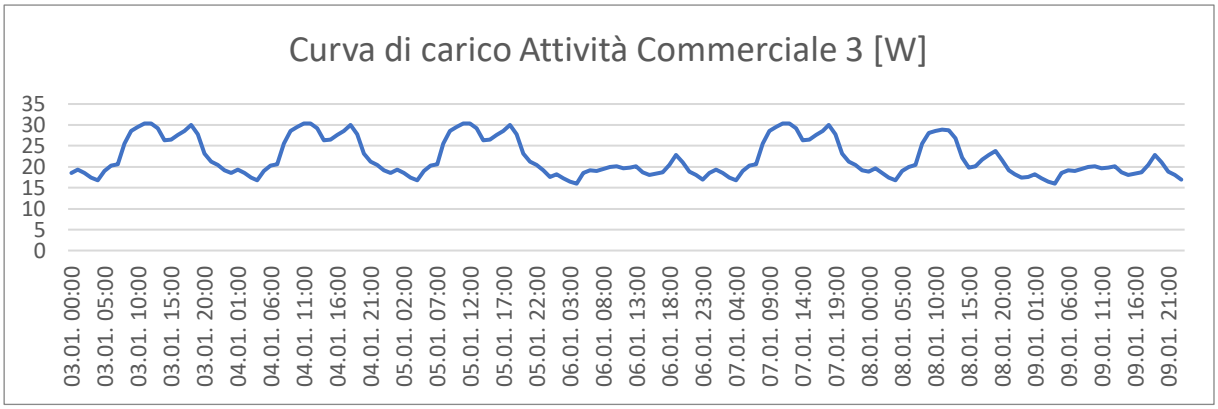


Figura 88 - Curva di carico dell'attività commerciale 3

4) **Attività commerciale 4**: apertura tutti i giorni della settimana, con attività durante il fine settimana. Picchi all'ora di pranzo e cena.

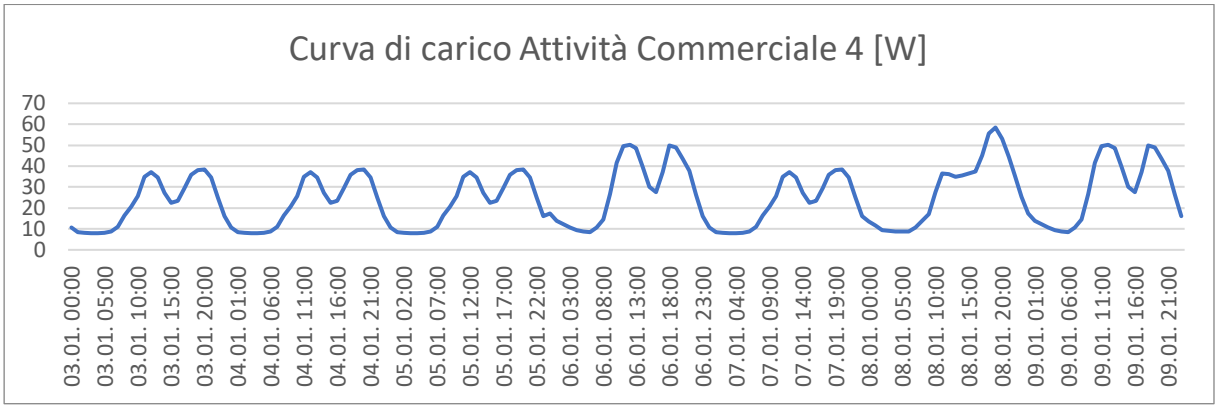


Figura 89 – Curva di carico dell'attività commerciale 4

Le curve rappresentate nei grafici sono state calibrate per un consumo finale annuo di 2700 kWh/anno.

Riferendosi ai valori trovati dal CBECS, viene ottenuto un IPE per le attività commerciali pari a 196,98 kWh/(m^2*anno). La curva di carico finale si ottiene moltiplicando quella con un consumo annuo di 196,98 kWh/anno per la metratura inserita dall'utente.
È necessario considerare che il valore di IPE utilizzato viene ottenuto partendo da dati americani, che potrebbero non rispecchiare a pieno la situazione italiana. Attualmente non è stato possibile trovare uno studio che analizzasse i consumi delle attività commerciali in Italia, ma esso potrebbe essere incluso in una successiva implementazione del software.

Alberghi

Per la definizione della categoria albergo ci si riferisce alle curve fornite dal software Polysun, una per un albergo aperto tutto l'anno con chiusura a novembre e una per un albergo con apertura stagionale, e allo studio "Caratterizzazione energetica del settore alberghiero in Italia" di ENEA.
Le curve rappresentate nei grafici sono state normalizzate e il consumo elettrico annuo risulta di 1.000 kWh/anno.

L'albergo aperto tutto l'anno ha un carico che appare elevato durante i mesi invernali, con un abbassamento in primavera, un rialzo in estate e un valore simile a quello di base in occasione della chiusura, nel mese di novembre.
Questo andamento è conforme con un profilo di occupazione dei posti letto quasi costante, tipico degli alberghi tre e quattro stelle aperti tutto l'anno, la maggior parte dei quali in Italia è business e situata il Lombardia e Lazio.

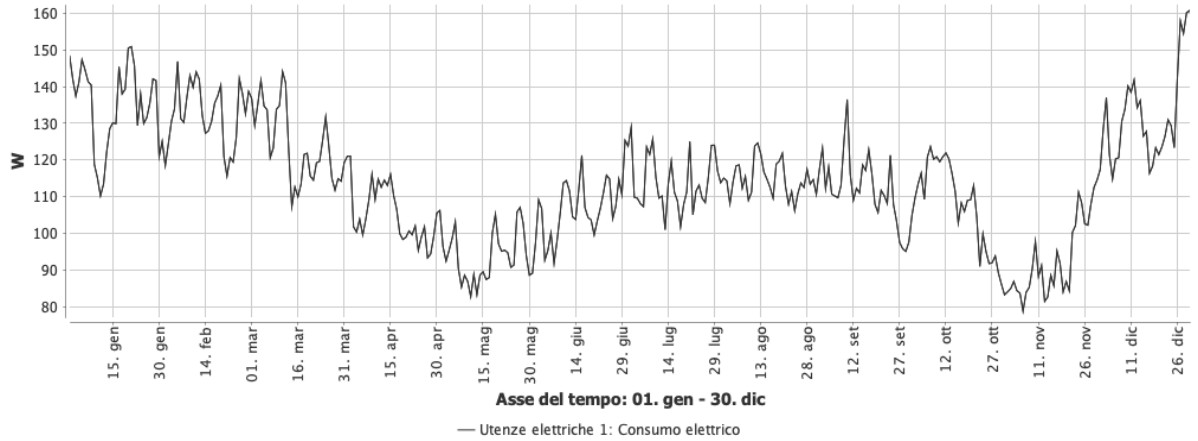


Figura 90 – Curva di carico dell'albergo aperto tutto l'anno con chiusura nel mese di novembre

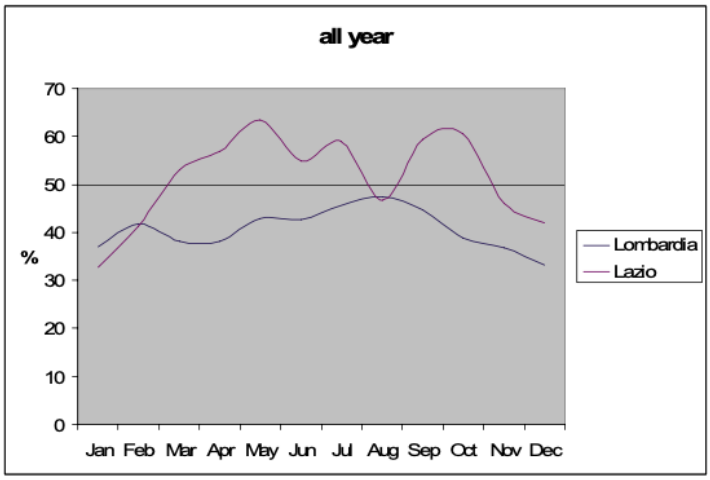


Figura 91 - Profilo di occupazione dei posti letto negli alberghi tre e quattro stelle, media per regione [51]

L'albergo stagionale ha una ripartizione più marcata tra i mesi in cui c'è attività, coincidenti con il periodo invernale ed estivo, e quelli di chiusura, da fine aprile a inizio maggio e da fine settembre a fine novembre.
L'andamento dell'occupazione dei posti letto negli alberghi stagionali cambia a seconda della regione e può essere composto da due picchi, uno estivo e uno invernale, nel caso in cui ci si riferisce ad una località di montagna dove l'affluenza turistica è caratterizzata da una doppia stagionalità, oppure da un picco estivo, che risulta essere più marcato in Sardegna, Sicilia ed Emilia-Romagna, con un'occupazione del 10-20% durante la stagione invernale e oltre il 70-80% in quella estiva.

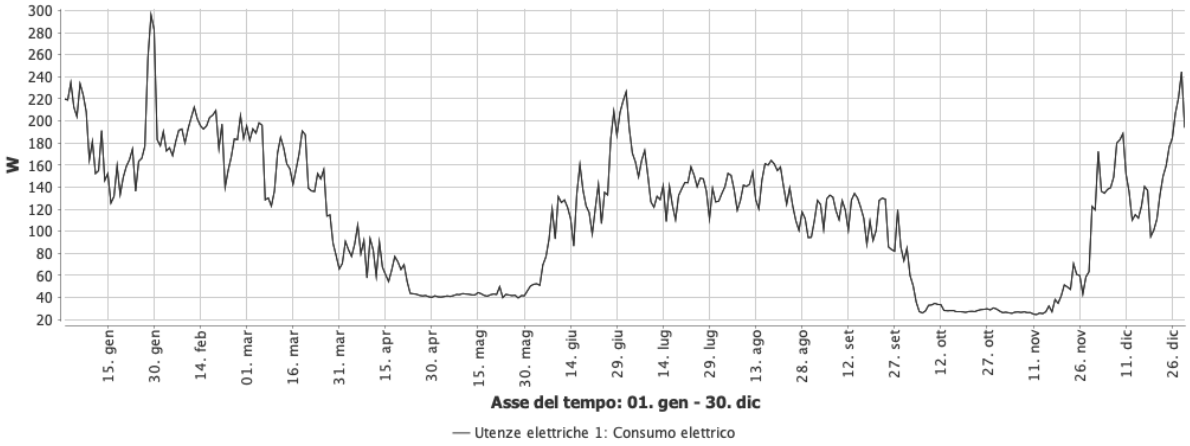


Figura 92 – Andamento dei consumi elettrici per l'albergo stagionale

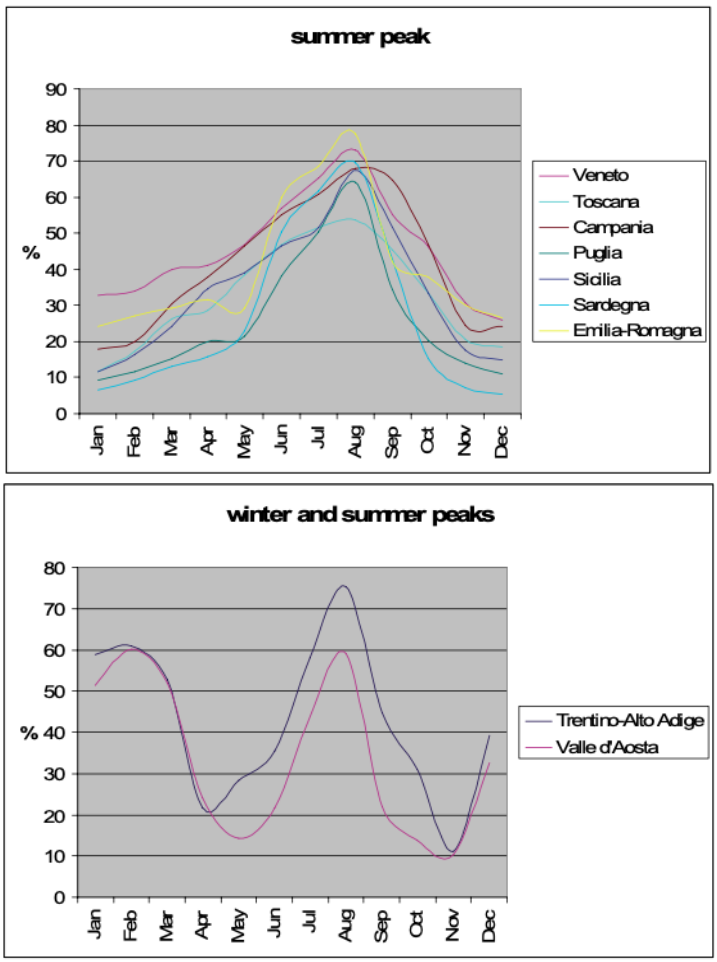


Figura 93 - Profilo di occupazione dei posti letto negli alberghi tre e quattro stelle, media per regione [51]

La curva di carico finale si ottiene moltiplicando i valori orari della curva normalizzata a 1 kWh/anno per il consumo elettrico annuale introdotto come input dall'utente.

Industriale

La definizione dei carichi industriali si basa sulle curve di carico di tre industrie, dolciaria, lavorazioni metalliche e spumantificio, ottenute dal monitoraggio dei loro consumi reali. Le curve sono state normalizzate con il loro valore massimo; esse vengono poi scalate in funzione della potenza di picco introdotta dall'utente.
Analizzando l'andamento delle curve di carico in una settimana invernale ed estiva si nota che il consumo delle aziende dolciarie e di lavorazioni metalliche risulta pressoché costante nel tempo, a parte nei giorni di chiusura, in cui esso si riduce al valore di base. Lo spumantificio ha un valore di base maggiore, da cui il carico si discosta solo negli orari di lavoro.

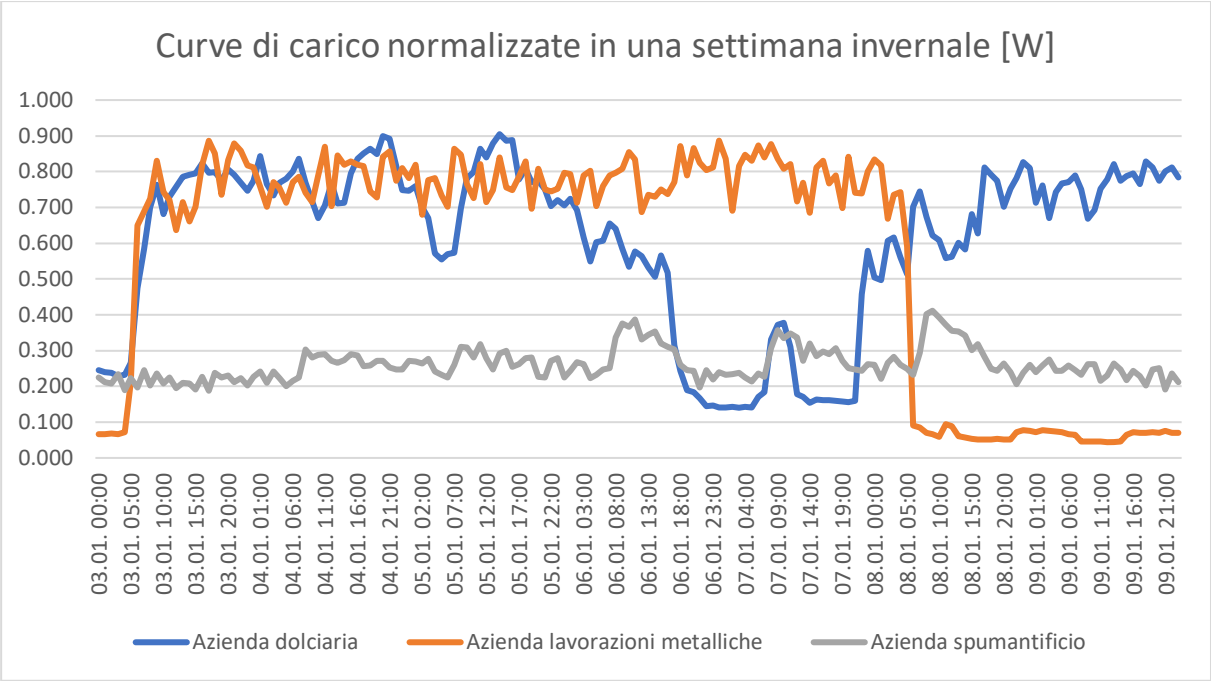


Figura 94 - Curve di carico normalizzate delle aziende in una settimana invernale

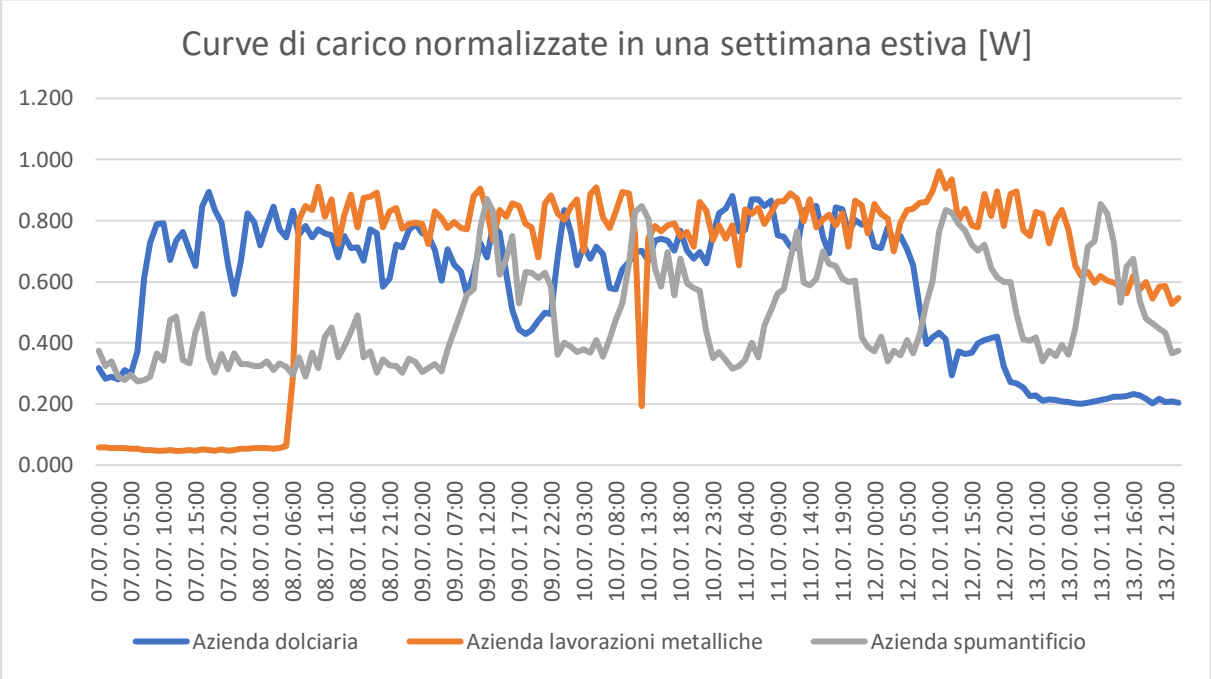


Figura 95 - Curve di carico normalizzate delle aziende in una settimana estiva

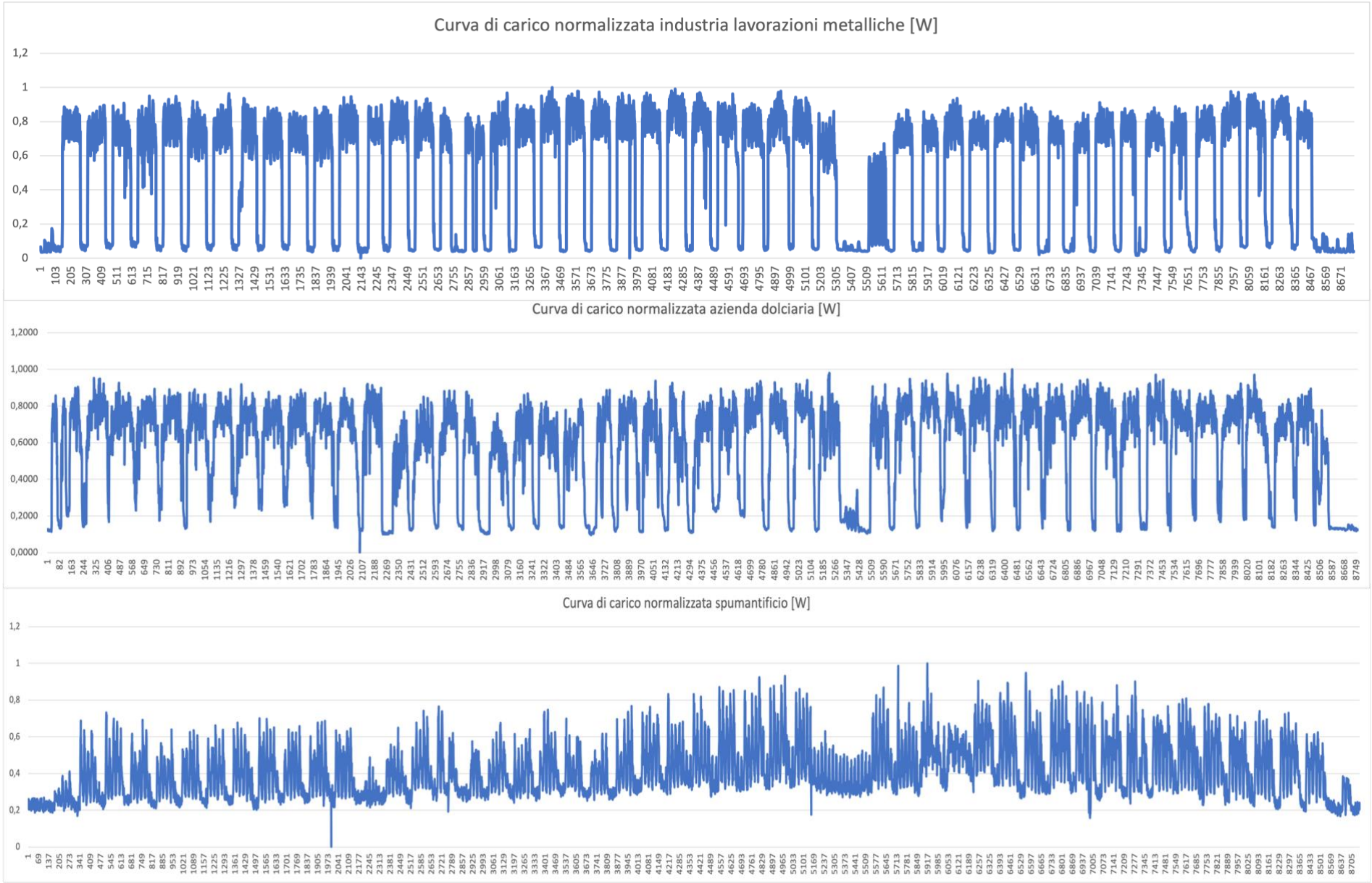

Curva di carico normalizzata industria lavorazioni metalliche [W]
Curva di carico normalizzata azienda dolciaria [W]
Curva di carico normalizzata spumantificio [W]

Figura 96 – Curve di carico normalizzate delle industrie per un anno

3.2.3 La produzione fotovoltaica

La curva di produzione fotovoltaica viene ottenuta attraverso PVGIS, tool del Joint Research Center (JRC) dell'Unione Europea per un impianto fotovoltaico di silicio policristallino con potenza di picco di 1 kW installato nella località di Torino. La produzione viene adattata automaticamente dal software in base alla potenza di picco scelta dall'utente e dalla locazione della comunità, tenendo conto che la producibilità annua in Italia è di 1100 kWh/anno nel Nord, 1300 kWh/anno nel Centro e 1500 kWh/anno nel Sud.

3.4 "Autoconsumo virtuale"

La definizione dell'energia elettrica autoconsumata virtuale è essenziale per il calcolo degli incentivi destinati alla comunità. Per questo, dopo aver definito le curve dei carichi e della produzione, è possibile calcolarne il valore come il minimo, in ogni ora, tra l'energia prelevata e immessa in rete dalla comunità.
La somma di tutti i valori orari permette di ottenere la quota di energia autocondivisa virtuale totale; essa viene poi moltiplicata per i valori specificati nelle Regole Tecniche del GSE per ottenere gli incentivi:

- 110 euro/MWh per la creazione della comunità;
- 7,94 euro/MWh per l'evitata distribuzione dell'energia;
- 0,62 euro/MWh per l'evitata trasmissione dell'energia.

Viene lasciata la possibilità all'utente di indicare con che percentuale suddividere gli incentivi tra il gruppo dei consumatori e dei produttori; essa viene fissata di default a 20% per i consumatori e 80% per i produttori, in modo che questi ultimi abbiano la possibilità di rientrare del proprio investimento iniziale.
I valori orari degli incentivi per il consumo e la produzione per ogni utente si ottengono, una volta definiti quelli per le due categorie, proporzionalmente alla quantità di energia immessa o prelevata dalla rete rispetto a quella della comunità.

3.5 "Output" e "Flussi di cassa"

L'obiettivo del foglio di calcolo "Output" è riassumere la struttura della Comunità di Energia Rinnovabile e mostrare gli output energetici, ambientali ed economici che la contraddistinguono. La CER viene analizzata nella sua globalità e per ogni utente che ne fa parte, in modo da avere una visione il più dettagliata possibile sui vantaggi che si otterrebbero dalla sua istituzione e verificare la loro ripartizione tra i membri che ne andrebbero a far parte.

Nei fogli di calcolo "Flussi di cassa" viene analizzato il flusso di cassa delle tipologie di utenti, ritenute rappresentative. Grazie all'utilizzo di alcuni dati in ingresso, specificati in seguito, si ottiene la tabella che definisce il flusso di cassa, tramite l'inserimento delle spese, dei guadagni e delle imposte, e il relativo grafico dell'andamento del VAN.

3.5.1 Flusso di cassa

Il flusso di cassa è la ricostruzione dei flussi monetari di un investimento in un certo periodo di tempo. L'obiettivo è riuscire a calcolare, includendo tutte le spese, i ricavi e le imposte, il Valore Attuale Netto (VAN) di un investimento e, quindi, riconoscere se esso sarà redditizio. Attualizzare significa trovare i valori attuali dei flussi di denaro futuri utilizzando un tasso di sconto, che solitamente risulta positivo, in quanto il denaro futuro, a causa dell'incertezza, varrà meno nel presente.
Per calcolare il flusso di cassa netto, è necessario conoscere da effettuare all'anno 0, i ricavi, le spese le imposte da pagare ogni anno. Esso viene poi attualizzato, utilizzando la formula:

Equazione 5 – Flusso di cassa attualizzato

$$Flusso\ di\ cassa\ Attualizzato = Flusso\ di\ cassa\ dell'anno\ t * \frac{1}{(1+r)^t}$$

Dove r è il tasso di sconto pari al 5% e t è l'anno preso in considerazione nei vent'anni di analisi. Sommando i flussi di cassa attualizzati si ottiene il VAN nei vari anni:

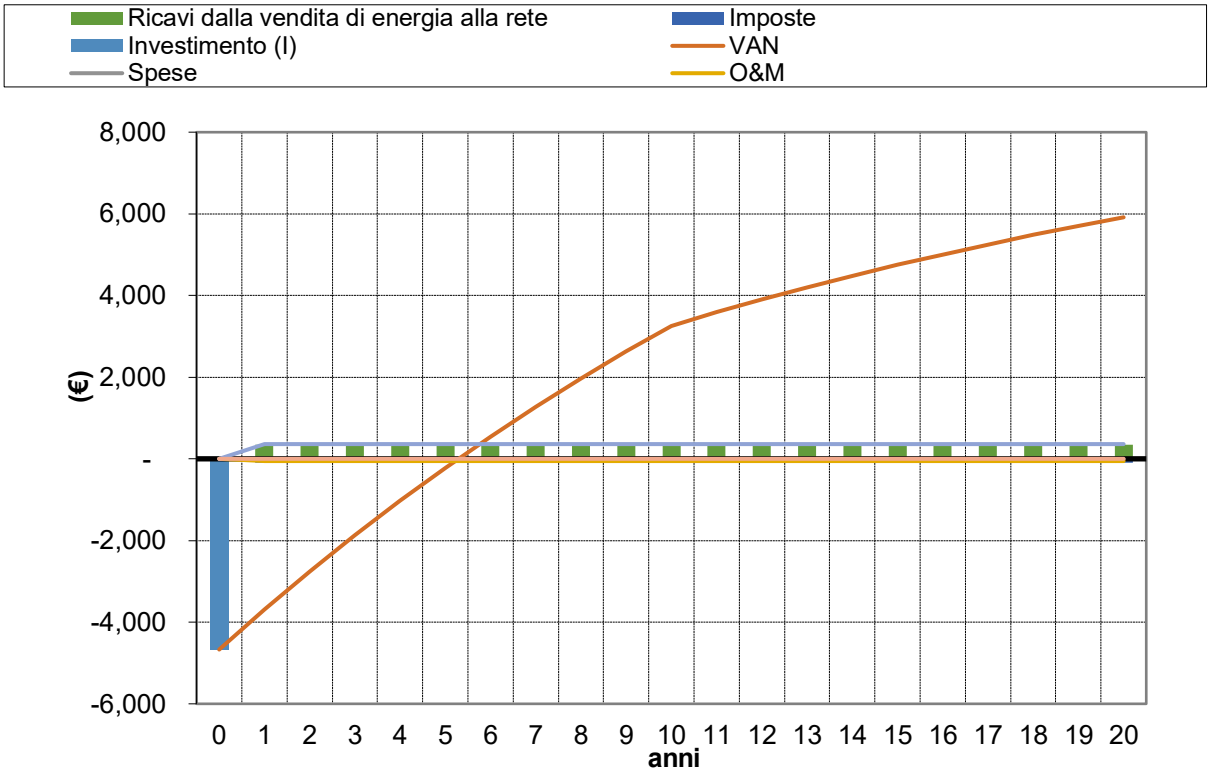


Figura 97 – Esempio di andamento temporale del VAN per un utente residenziale

Gli indicatori economici che vengono scelti per definire la redditività dell'investimento sono:

- Il tempo di ritorno semplice (TR), che individua il numero di anni necessari a recuperare il capitale investito e calcolato come il rapporto tra l'investimento iniziale e il flusso di cassa medio annuo;

Equazione 6 – Tempo di ritorno

$$TR = \frac{I}{FC_{medio\ annuo}}$$

- Il VAN al ventesimo anno;
- Il rapporto tra il VAN al ventesimo anno e l'investimento iniziale (VAN/I).

Investimento

Gli investimenti permettono di ottenere una percentuale di proprietà di un impianto fotovoltaico. Nella tabella 5, sono definiti i costi medi per impianti chiavi in mano nell'anno 2021; ad essi viene applicata l'IVA agevolata al 10%. Per tutte le potenze intermedie viene definito un prezzo che si riferisce alla fascia precedente.

Tabella 5 – Prezzo degli impianti fotovoltaici residenziali

POTENZA [kW]	PREZZO CHIAVI IN MANO [€]	IVA AL 10% [€]	PREZZO FINALE [€]	PREZZO AL kW IVA INCLUSA [€/kW]
1,5	2.500	250	2.750	1.833
3	6.000	600	6.600	2.200
4,5	8.500	850	9.350	2.078
6	10.300	1.030	11.330	1.888
10	18.500	1.850	20.350	2.035
20	32.000	3.200	35.200	1.760

Per le potenze comprese tra i 20 kW e i 200 kW, definite commerciali, viene utilizzato il costo totale di installazione indicato nel report "Renewable power generation costs in 2020" di IRENA, pari a 1.067 2020USD/kW. Considerando un cambio euro dollaro medio nel 2020 di 1,1422 $ per ogni €, si ottiene un costo totale di installazione di 934€/kW; applicando l'IVA agevolata del 10%, il costo finale diventa 1.027 €/kW.
Il software è in grado, a seconda della potenza di picco dell'impianto scelto, di definirne la categoria di appartenenza e l'investimento effettuato.
Nel caso in cui la percentuale di proprietà sia inferiore a 100%, l'investimento, le spese e i relativi guadagni vengono suddivisi tra gli investitori in funzione della percentuale di possesso.

Ricavi

I ricavi inclusi nel flusso di cassa sono di tre tipi: la vendita dell'energia elettrica prodotta dall'impianto, il risparmio per il mancato acquisto di energia dovuto alla presenza di autoconsumo reale, gli incentivi per la produzione.

Vendita dell'energia elettrica alla rete

Per la vendita dell'energia elettrica prodotta, il GSE stabilisce che gli impianti possono richiedere che venga effettuato il ritiro dell'energia (e in questo caso vengono utilizzate le

condizioni di Ritiro Dedicato), oppure scegliere liberamente con quali modalità valorizzare l'energia immessa in rete.
Nei fogli di calcolo si ipotizza che l'energia elettrica immessa venga valorizzata con il Ritiro Dedicato. In questo caso, l'energia viene pagata secondo i "Prezzi medi mensili per fascia oraria e zona di mercato", che sono definiti, per le diverse zone di mercato, come il rapporto tra il guadagno e la quantità di energia collocata sul mercato elettrico dal GSE, in €/MWh. Il prezzo viene caratterizzato in funzione delle tre fasce orarie, F1, F2 e F3, in cui è suddivisa la giornata.

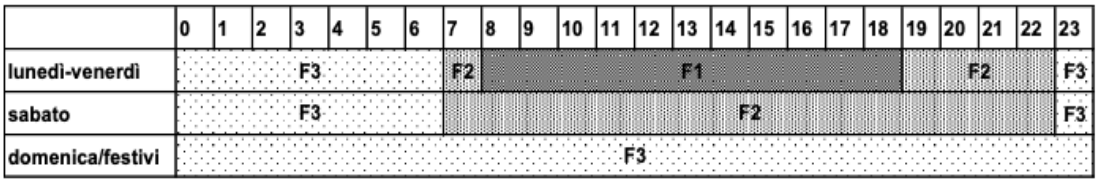


Figura 98 – Fasce orarie per il prezzo dell'energia elettrica nel Ritiro Dedicato [63]

I prezzi medi mensili non sono attualmente disponibili per tutto 2021; è necessario, allora, riferirsi ad un anno precedente. Si sceglie di considerare i prezzi del 2019, in quanto il 2020 è stato un anno sui generis per la diffusione della pandemia Covid-19, che ha avuto ripercussioni anche sul settore energetico. Questa scelta rappresenta un'approssimazione, in quanto i prezzi del 2019 presentano un andamento diverso da quello del 2021.

Fascia	F1											
Zona	gen.	feb.	mar.	apr.	mag.	giu.	lug.	ago.	set.	ott.	nov.	dic.
Centro Nord	75,30	60,78	60,53	70,41	74,40	88,61	108,72	113,63	162,70			
Centro Sud	68,84	59,29	59,74	68,44	70,41	88,70	109,03	117,21	162,41			
Nord	75,83	65,03	60,62	71,07	74,20	88,84	108,93	112,56	162,69			
Sardegna	66,33	58,98	58,91	62,81	57,70	89,29	109,55	98,28	145,57			
Sicilia	63,77	60,35	56,10	72,51	69,81	94,20	116,12	132,14	162,26			
Sud	61,70	58,43	56,45	63,73	70,14	88,41	109,28	117,09	159,95			
Calabria	60,23	59,34	56,39	63,76	70,48	88,79	109,37	117,33	159,21			

Figura 99 – Prezzi 2021 per la fascia F1 nel Ritiro Dedicato [65]

Fascia	F1											
Zona	gen.	feb.	mar.	apr.	mag.	giu.	lug.	ago.	set.	ott.	nov.	dic.
Centro Nord	51,70	41,78	32,73	22,74	22,69	30,53	42,76	41,00	53,29	47,55	53,18	67,52
Centro Sud	51,45	41,72	32,64	22,52	21,42	30,24	42,41	41,13	52,85	43,37	53,07	64,98
Nord	51,35	41,88	31,67	23,58	22,64	30,44	42,11	41,25	53,33	47,42	53,65	67,24
Sardegna	50,23	41,48	31,40	19,66	18,31	22,15	42,39	40,20	52,18	45,95	51,76	60,68
Sicilia	56,68	34,28	32,24	24,51	18,91	27,35	48,63	54,01	66,66	51,04	52,08	62,75
Sud	50,49	35,39	31,58	22,32	18,33	28,84	42,27	40,66	50,14	43,85	52,60	55,45

Figura 100 – Prezzi 2020 per la fascia F1 nel Ritiro Dedicato [64]

Fascia	F1											
Zona	gen.	feb.	mar.	apr.	mag.	giu.	lug.	ago.	set.	ott.	nov.	dic.
Centro Nord	75,45	59,08	55,15	58,00	52,72	53,00	56,69	48,28	54,41	57,92	56,59	49,56
Centro Sud	70,10	58,74	53,21	52,61	49,66	53,02	56,42	48,24	53,64	53,55	52,92	49,56
Nord	75,96	59,19	55,28	56,66	52,36	52,93	56,63	47,87	55,10	59,40	57,08	50,43
Sardegna	68,70	58,03	52,10	47,05	49,28	53,02	54,50	47,72	54,30	53,89	50,05	45,75
Sicilia	76,97	49,24	31,60	62,03	71,20	55,69	62,61	72,10	54,82	64,17	47,15	54,05
Sud	65,38	46,45	37,01	49,71	46,58	51,06	56,61	48,29	53,79	51,39	43,46	49,07

Figura 101 – Prezzi 2019 per la fascia F1 nel Ritiro Dedicato [63]

Per facilitare l'analisi, viene utilizzato un prezzo medio, definito partendo dalla media per ogni fascia oraria di tutti i prezzi medi mensili, per le varie zone e per i vari mesi, moltiplicata per il numero di ore in cui ogni fascia è presente in una settimana e divisa per il numero di ore in una settimana. Il risultato è il prezzo medio dell'energia elettrica ogni ora della settimana, che equivale a 49,2 €/MWh.
Moltiplicando l'energia elettrica immessa in rete per questo valore, si ottiene una stima del ricavo.

Equazione 7 – Ricavo per la vendita di energia elettrica

$$Ricavo\ per\ la\ vendita\ dell'energia\ elettrica = MWh\ immessi\ in\ rete * 49{,}2\ €/MWh$$

Risparmio per il mancato acquisto dell'energia elettrica dovuto alla presenza di autoconsumo reale

La seconda fonte di guadagno deriva dal risparmio per l'evitato acquisto di energia dalla rete, che si ottiene definendo in dettaglio le componenti che compongono il costo in bolletta.

A seconda della categoria di utenza considerata, il costo in bolletta varia:

1) Domestico: considerando l'ipotesi di mercato dell'energia elettrica tutelato, le componenti del costo sono riassunte come segue:

Tabella 6 – Componenti del costo in bolletta domestico mercato elettrico tutelato

DOMESTICI					
SPESA MATERIA ENERGIA	Costo sostenuto dal fornitore per acquistare l'energia, rivenderla e offrire un **servizio clienti** efficiente	QUOTA FISSA		3,8502 46,2024	€/mese €/anno
		QUOTA VARIABILE	FASCIA F1 FASCIA F23 MEDIA Dispacciamento	0,13084 0,11184 0,12134 0	€/kWh €/kWh €/kWh €/kWh
SPESA TRASPORTO E GESTIONE DEL CONTATORE	Costi sostenuti per **trasportare e distribuire** l'energia elettrica e le spese che il gestore sostiene per la gestione dei contatori	QUOTA FISSA		1,71 20,52	€/mese €/anno
		QUOTA VARIABILE		0,00889	€/kWh
		QUOTA POTENZA		1,77 21,24	€/(kW*mese) €/(kW*anno)
ONERI GENERALI	Legata alla copertura di una serie di attività relative al sistema elettrico, come per esempio i finanziamenti alle **fonti rinnovabili** o gli	SPESE ONERI DI SISTEMA		0,024393	€/kWh
		Asos	Oneri generali al sostegno delle energie rinnovabili e alla cogenerazione	0,019674	€/kWh
		Arim	Rimanenti oneri generali	0,004719	€/kWh

	oneri per il bonus elettrico	UC3	Copertura costi di perequazione dei costi di trasmissione, distribuzione e misura dell'energia elettrica	0,00095	€/kWh
ACCISE	E' applicata alla quantità di energia consumata dal cliente.	Consumi fino a 150 kWh/mese		0	€/kWh
		Consumi oltre 150 kWh/mese, fornitura con più di 3 kW, fornitura per seconde case		0,0227	€/kWh
IVA	E' calcolata sul prezzo finale della bolletta della luce	Domestico residente		10%	
		Domestico non residente, altri usi		22%	

Considerando la media tra i valori delle fasce orarie F1, F2 e F3 e sommando le componenti variabili, quelle fisse e quelle legate alla potenza si ottiene:

Tabella 7 – Riassunto delle componenti del costo in bolletta domestico mercato elettrico tutelato

DOMESTICO RIASSUNTO			
QUOTA FISSA ALL'ANNO		67	€/anno
QUOTA VARIABILE	consumi <150 kWh/mese	0,18	€/kWh
	altri casi	0,20	€/kWh
QUOTA POTENZA		21	€/kW
IVA		10%	

2) Non domestico: per definire il costo dell'energia elettrica, si fa riferimento ad un'utenza in bassa tensione che partecipa al mercato libero dell'energia. Le componenti che si ricavano sono:

Tabella 8 – Componenti della bolletta non domestica mercato libero dell'energia

NON DOMESTICI - MERCATO LIBERO					
SERVIZI DI VENDITA	QUOTA FISSA			0	€/anno
	QUOTA ENERGIA	ENERGIA	FASCIA F1	0,054393	€/kWh
			FASCIA F2	0,059197	€/kWh
			FASCIA F3	0,044842	€/kWh
			MEDIA	0,052810667	€/kWh

		DISPACCIAMENTO	Corrispettivo di reintegrazione oneri salvaguardia	0,0801	€/kWh
			Approvvigionamento risorse del MSD	0,006276	€/kWh
			Copertura costi modulazione produzione eolica	0,000025	€/kWh
			Copertura costi unità essenziali sicurezza sistema	0,000013	€/kWh
			Copertura costi funzionamento Terna	0,000389	€/kWh
			Copertura costi Sistema Informativo Integrato	0	€/kWh
			Copertura costi remunerazione capacità produttiva	0,00068	€/kWh
			Copertura remunerazione interrompibilità	0,001229	€/kWh
			Totale dispacciamento	0,088712	€/kWh
		COMPONENTE DI PEREQUAZIONE		0	€/kWh
	PERDITE		MEDIA	0,052810667	€/kWh
SPESA TRASPORTO E GESTIONE DEL CONTATORE	TRASMISSIONE			0,00712	€/kWh
	DISTRIBUZIONE	QUOTA FISSA	Potenze impiegate <= 1,5 kW	4,63	€/anno
			1,5 kW < Potenze impiegate<=3 kW	4,63	€/anno
			3 kW < Potenze impiegate<=6 kW	4,63	€/anno
			6 kW < Potenze impiegate<=10 kW	5,09	€/anno
			10 kW < Potenze impiegate<=16 kW	5,09	€/anno
			Potenze impiegate > 16 kW	4,63	€/anno
			MEDIA	4,78	€/anno
		QUOTA POTENZA	Potenze impiegate <= 1,5 kW	29,2501	€/(kW*anno)
			1,5 kW < Potenze impiegate<=3 kW	27,7025	€/(kW*anno)
			3 kW < Potenze impiegate<=6 kW	30,7977	€/(kW*anno)
			6 kW < Potenze impiegate<=10 kW	30,7977	€/(kW*anno)
			10 kW < Potenze impiegate<=16 kW	30,7977	€/(kW*anno)
			Potenze impiegate > 16 kW	29,2501	€/

					(kW*anno)
				29,7659 6667	€/ (kW*anno)
		QUOTA ENERGIA	Potenze impiegate <= 1,5 kW	0,00061	€/kWh
			1,5 kW < Potenze impiegate<=3 kW	0,00061	€/kWh
			3 kW < Potenze impiegate<=6 kW	0,00061	€/kWh
			6 kW < Potenze impiegate<=10 kW	0,00061	€/kWh
			10 kW < Potenze impiegate<=16 kW	0,00061	€/kWh
			Potenze impiegate > 16 kW	0,00059	€/kWh
			MEDIA	0,00061	€/kWh
	MISURA		Altre utenze in bassa tensione	20,2356	€/anno
ONERI GENERALI	ASOS (Relativi al sostegno delle energie da fonti rinnovabili ed alla cogenerazione)	QUOTA FISSA	Potenze impiegate <= 1,5 kW	2,0604	€/anno
			1,5 kW < Potenze impiegate<=3 kW	2,0604	€/anno
			3 kW < Potenze impiegate<=6 kW	2,0604	€/anno
			6 kW < Potenze impiegate<=10 kW	2,1	€/anno
			10 kW < Potenze impiegate<=16 kW	2,1	€/anno
			Potenze impiegate > 16 kW	2,0604	€/anno
			MEDIA	2,0736	€/anno
		QUOTA POTENZA	Potenze impiegate <= 1,5 kW	2,4504	€/ (kW*anno)
			1,5 kW < Potenze impiegate<=3 kW	2,3208	€/ (kW*anno)
			3 kW < Potenze impiegate<=6 kW	2,5812	€/ (kW*anno)
			6 kW < Potenze impiegate<=10 kW	2,5812	€/ (kW*anno)
			10 kW < Potenze impiegate<=16 kW	2,5812	€/ (kW*anno)
			Potenze impiegate > 16 kW	2,4504	€/ (kW*anno)
			MEDIA	2,4942	€/ (kW*anno)
		QUOTA ENERGIA	Potenze impiegate <= 1,5 kW	0,00610	€/kWh
			1,5 kW < Potenze impiegate<=3 kW	0,00610	€/kWh
			3 kW < Potenze impiegate<=6 kW	0,00610	€/kWh

			6 kW < Potenze impiegate<=10 kW	0,00610	€/kWh
			10 kW < Potenze impiegate<=16 kW	0,00610	€/kWh
			Potenze impiegate > 16 kW	0,00610	€/kWh
			MEDIA	0,00610	€/kWh
	ARIM (Rimanenti oneri generali)	QUOTA FISSA	Potenze impiegate <= 1,5 kW	4,92	€/anno
			1,5 kW < Potenze impiegate<=3 kW	4,92	€/anno
			3 kW < Potenze impiegate<=6 kW	4,92	€/anno
			6 kW < Potenze impiegate<=10 kW	5,01	€/anno
			10 kW < Potenze impiegate<=16 kW	5,01	€/anno
			Potenze impiegate > 16 kW	4,92	€/anno
			MEDIA	4,95	€/anno
		QUOTA POTENZA	Potenze impiegate <= 1,5 kW	5,8512	€/ (kW*anno)
			1,5 kW < Potenze impiegate<=3 kW	5,5404	€/ (kW*anno)
			3 kW < Potenze impiegate<=6 kW	6,1596	€/ (kW*anno)
			6 kW < Potenze impiegate<=10 kW	6,1596	€/ (kW*anno)
			10 kW < Potenze impiegate<=16 kW	6,1596	€/ (kW*anno)
			Potenze impiegate > 16 kW	5,8512	€/ (kW*anno)
			MEDIA	5,9536	€/ (kW*anno)
		QUOTA ENERGIA	Potenze impiegate <= 1,5 kW	0,00188	€/kWh
			1,5 kW < Potenze impiegate<=3 kW	0,00188	€/kWh
			3 kW < Potenze impiegate<=6 kW	0,00188	€/kWh
			6 kW < Potenze impiegate<=10 kW	0,00188	€/kWh
			10 kW < Potenze impiegate<=16 kW	0,00188	€/kWh
			Potenze impiegate > 16 kW	0,00187	€/kWh
			MEDIA	0,00188	€/kWh

	UC3	QUOTA ENERGIA	Potenze impiegate <= 1,5 kW	0,09500	€/kWh
			1,5 kW < Potenze impiegate<=3 kW	0,09500	€/kWh
			3 kW < Potenze impiegate<=6 kW	0,09500	€/kWh
			6 kW < Potenze impiegate<=10 kW	0,09500	€/kWh
			10 kW < Potenze impiegate<=16 kW	0,09500	€/kWh
			Potenze impiegate > 16 kW	0,09500	€/kWh
			MEDIA	0,09500	€/kWh
	UC6			-	
ACCISE	ALTRI USI	Forniture fino a 1.200.000 kWh/mese	Primi 200.000 kWh consumati nel mese	0,0125	€/kWh
			Consumi oltre 200.000 kWh consumati nel mese	0,0075	€/kWh
		Forniture oltre 1.200.000 kWh/mese	Primi 200.000 kWh consumati nel mese	0,0125	€/kWh
			Consumi oltre 200.000 kWh consumati nel mese	4820	€
IVA				10% 22%	/

La componente di dispacciamento viene applicata su tutta l'energia che viene prelevata, quindi quella consumata più le perdite, che in bassa tensione equivalgono al 10,4%. La quota delle perdite viene applicata solo alle stesse.
Anche in questo caso, sommando le componenti fisse, quelle variabili e quelle legate alla potenza si ottiene:

Tabella 9 – Riassunto componenti della bolletta non domestica mercato libero dell'energia

NON DOMESTICO RIASSUNTO			
QUOTA FISSA ALL'ANNO		32	€/anno
QUOTA VARIABILE	consumi <1.200.000 kWh/mese	0,17	€/kWh
	consumi >1.200.000 kWh/mese	0,27	€/kWh
QUOTA POTENZA		38	€/kW
IVA		22%	
PERDITE		0,053	€/kWh
DISPACCIAMENTO		0,089	€/kWh

Il mancato acquisto di energia elettrica per autoconsumo reale permette di ridurre la quota di energia prelevata dalla rete, risparmiando il costo della componente variabile calcolata su di essa, delle perdite che ne deriverebbero e della quota di dispacciamento.

Equazione 8 – Stima per il risparmio per il mancato acquisto di energia dalla rete

$$Stima\ risparmio\ per\ autoconsumo\ reale = (1 + IVA) * (Energia\ autoconsumata * componente\ variabile + Perdite\ evitate * componente\ delle\ perdite + (Energia\ autoconsumata + Perdite\ evitate) * componente\ di\ dispacciamento)$$

Incentivi per la produzione

L'ultima fonte di guadagno coincide con gli incentivi, la cui divisione è stata commentata precedentemente.

Spese

O&M

Il costo dell'Operation and Maintance degli impianti fotovoltaici viene ricavato dallo studio "U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2018" di NREL. Gli impianti fotovoltaici vengono suddivisi in tre categorie:

- Residenziale: per potenze inferiori a 10 kW
- Commerciale: tra 10 kW e 1 MW
- Utility: maggiore di 1 MW

Basandosi sulla figura 102 e convertendo i $ in €, il costo dell'O&M è stato trovato essere:

- Residenziale: 17,79 €/(kW*anno)
- Commerciale: 14,82 €/(kW*anno)
- Utility: 11,01 €/(kW*anno)

Il costo della sostituzione dell'inverter viene suddiviso equamente negli anni di vita della tecnologia.

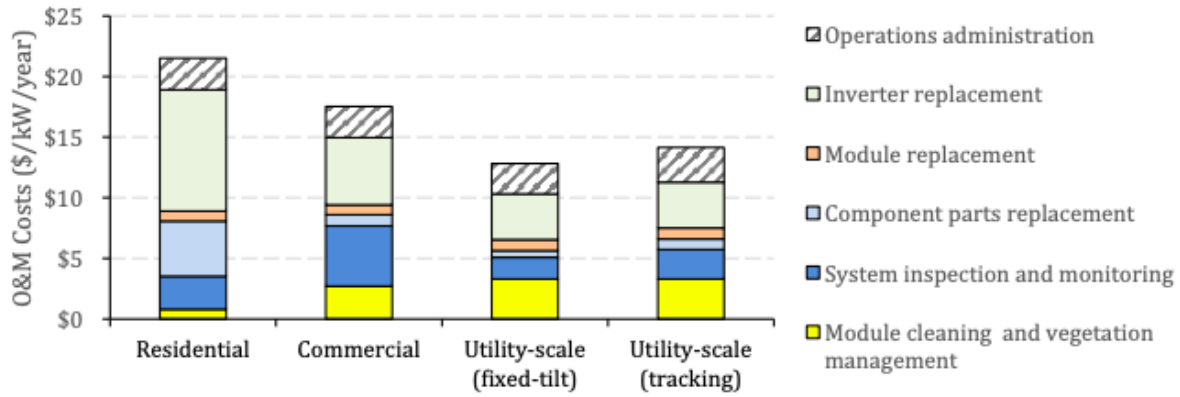


Figura 102 – Costo O&M per le diverse categorie di fotovoltaico [77]

Corrispettivi GSE

L'inserimento all'interno di una Comunità di Energia Rinnovabile comporta il pagamento di un corrispettivo annuo per i costi amministrativi del GSE, che si può riassumere nella tabella 10:

Tabella 10 – Corrispettivi per il GSE

Potenza [kW]	Corrispettivo fisso [€/anno]	Corrispettivo variabile [€/kW]
P<=3	0	0
3<P<=20	30,00	0
20<P<=200	30,00	1,00

A questi vanno aggiunti i 4€/anno per punto di connessione.

Imposte e detrazioni

Imposte

Le imposte applicate alla condizione di Ritiro Dedicato risultano diverse a seconda della categoria di utenza considerata:

1) Domestico: per gli utenti domestici con impianti fotovoltaici di potenza inferiore a 20 kW, i proventi devono essere comunicati nella dichiarazione dei redditi sotto la voce "Altri redditi". In questo caso, vengono applicare le imposte dirette, che sono pari a:

Tabella 11 – Imposte nel Ritiro Dedicato

IMPOSTE				
	oltre euro	fino a euro	aliquota	fisso [euro]
reddito		15000	23%	/
	15000	28000	27%	3450
	28000	55000	38%	6960
	55000	75000	41%	17220
	75000		43%	25420

Il valore fisso non viene considerato nel flusso di cassa, in quanto si ritiene che gli utenti che entrano a far parte di una Comunità di Energia Rinnovabile non abbiano come primo obiettivo quello economico e, di conseguenza, altre attività rappresenteranno la loro fonte di reddito principale.
In funzione del reddito annuo inserito dall'utente, viene calcolato un valore di aliquota medio da utilizzare per il calcolo delle tasse. Tra i ricavi, solamente quello derivato dalla vendita dell'energia elettrica alla rete viene incluso nel risultato per il calcolo delle imposte.

2) Non domestico: per gli utenti commerciali e industriali o quelli che hanno un impianto al di sopra dei 20 kW, è obbligatorio emettere fattura, per cui vengono pagate sia l'Iva del 10% che le imposte dirette. Per questa categoria si ipotizza un'aliquota media del 33% e di pagare le imposte sia per il ricavo per la vendita di energia elettrica alla rete che per il mancato acquisto per autoconsumo reale. La quota su cui si calcolano le imposte verrà ottenuta, quindi, sommando il ricavo per la vendita di energia e per il mancato acquisto e sottraendo le spese.

Detrazioni

Anche in questo caso le utenze devono essere suddivise in due categorie:

1) Domestico: viene considerato di detrarre il 50% dell'investimento iniziale in dieci anni, fino ad un massimo di 96.000 €.

2) Non domestico: si ipotizza che le aziende realizzino un ammortamento dell'investimento iniziale nei vent'anni di vita e un credito di imposta del 10% nei tre anni successivi.

3.5.2 Mancata emissione di CO2

L'utilizzo del fotovoltaico permette di produrre energia elettrica senza la generazione di emissioni. Consumare energia rinnovabile piuttosto che quella prodotta convenzionalmente permette di evitare la generazione di CO2, che viene quantificata, per un impianto termoelettrico, in media in Italia, come 415,5 gCO2/kWh.
Il vantaggio ambientale apportato dalla comunità viene calcolato come l'energia prodotta dagli impianti fotovoltaici, sia che venga autoconsumata in loco che immessa in rete, per l'emissione media di CO2 per kWh di un impianto termoelettrico.

Equazione 9 – Stima della mancata emissione di CO_2

$$Mancata\ emissione\ di\ CO_2 = Energia\ prodotta * 415{,}5 \frac{gCO_2}{kWh}$$

3.5.3 Stima della spesa di energia elettrica

Per ogni utente viene definita una stima della spesa annuale per l'energia elettrica. Essa si ottiene come:

Equazione 10 – Stima della spesa annuale per l'energia elettrica

$$\begin{aligned} &Stima\ spesa\ elettrica\ annuale \\ &\quad = Energia\ prelevata * Componente\ Variabile + Componente\ Fissa \\ &\quad + Perdite * Componente\ delle\ Perdite \\ &\quad + (Energia\ prelevata + Perdite) * Componente\ di\ Dispacciamento \end{aligned}$$

Per gli utenti residenziali si ipotizza una potenza di picco di 3 kW, mentre per gli utenti commerciali essa viene calcolata ipotizzando che il massimo delle curve di carico rappresenti l'80% della potenza di picco.

3.5.4 Incentivi per il consumo e stima del risparmio annuo in bolletta

Gli incentivi del consumo di ogni utente determinano un risparmio annuo nella bolletta elettrica, il cui valore percentuale può essere ricavato dividendo il valore degli incentivi per la stima della spesa elettrica annuale.

Equazione 11 – Stima del risparmio annuo in bolletta per gli incentivi per il consumo

$$Stima\ del\ risparmio\ annuo\ in\ bolletta = \frac{Incentivi\ per\ il\ consumo\ annuali}{Stima\ spesa\ elettrica\ annuale}$$

4. CASI STUDIO REALIZZATI TRAMITE L'UTILIZZO DEI FOGLI DI CALCOLO PER L'ANALISI DEI BENEFICI ECONOMICI-AMBIENTALI DI UNA CER

Il capitolo analizza due casi studio realizzati tramite i fogli di calcolo per la determinazione dei benefici economici-ambientali di una Comunità Energetica Rinnovabile.

Il primo caso studio analizza il variare dei vantaggi economici di quaranta utenti residenziali, divisi in cinque condomini, che possiedono la stessa percentuale di possesso, al variare della potenza di un impianto fotovoltaico, posizionato in un terreno adiacente ai condomini stessi. I risultati ottenuti vengono paragonati con quelli delle seguenti prove: la potenza del singolo impianto viene ripartita in cinque impianti di taglia inferiore, posizionati sui tetti dei condomini; gli utenti residenziali entrano a far parte della comunità come consumatori, mentre il possesso dell'impianto fotovoltaico è detenuto da un produttore esterno; il numero degli utenti viene duplicato, triplicato e quadruplicato.

4.1 Caso studio uno

Quaranta utenti residenziali suddivisi in cinque condomini valutano di istituire una CER, installando un impianto fotovoltaico in un terreno vicino ai condomini stessi. I vantaggi economici degli utenti vengono valutati al variare della potenza dell'impianto, compresa tra i 10 kW e i 200 kW.

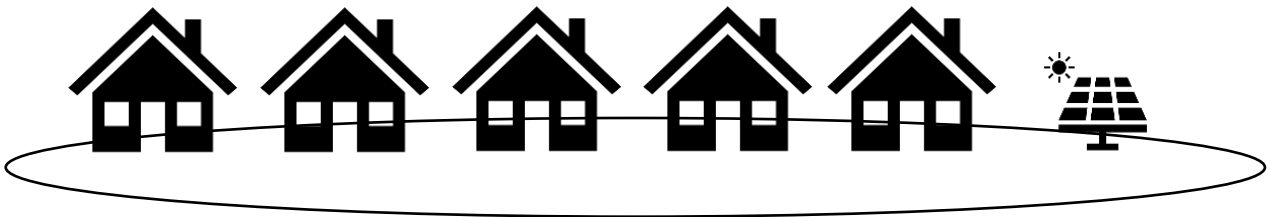


Figura 103 - Caso studio 1: Rappresentazione della configurazione della CER

Creazione della configurazione iniziale

Ogni utente presenta un profilo specifico, derivato dalle curve di carico fornite da Load Profile Generator. I parametri per la definizione dei consumi vengono fissati come segue:

- Per le apparecchiature:
    - il 60% degli utenti avrà lavastoviglie e aria condizionata (23 utenti),
    - il 15% solo lavastoviglie (6 utenti),
    - il 15% solo aria condizionata (6 utenti),
    - il 10% nessuna delle due (4 utenti).

  Essendo i carichi residenziali a loro volta suddivisi in cinque categorie, una persona, due, tre, quattro e cinque o più, i casi vengono distribuiti proporzionalmente al numero degli utenti che rientrano in ogni categoria. La prima, che è composta da tredici utenti su quaranta, ne avrà otto dotati sia di lavastoviglie che di aria condizionata, due solo di lavastoviglie, due solo di aria condizionata e uno di nessuno dei due. La terza

categoria, che possiede sette utenti su quaranta, avrà quattro persone con lavastoviglie e aria condizionata, uno con solo aria condizionata, uno con solo lavastoviglie e uno con nessuno dei due.
- Gli utenti sono suddivisi in condomini da meno di dieci appartamenti e da più di dieci appartamenti.
- La grandezza degli appartamenti varia da un minimo di 25 m^2 ad un massimo di 150 m^2.
- La CER viene immaginata essere ubicata a Torino, al centro dell'area metropolitana.
- Ogni utente è un prosumer: ha un carico associato ed ha la stessa percentuale di possesso dell'impianto, pari al 2,5%.

Le altre ipotesi che vengono realizzate sono:
- Gli utenti scelgono di ricevere una detrazione fiscale del 50% fino ad un massimo di 96.000 €.
- Gli incentivi del GSE sono tutti destinati alla produzione e vengono ripartiti equamente fra gli utenti.
- La CER aderisce al Ritiro Dedicato: l'energia immessa in rete viene valutata al prezzo medio per il Ritiro Dedicato nel 2019, calcolato essere 49,2 €/MWh.
- Il costo per aderire alla CER è nullo.
- Per ottenere risultati conservativi, il reddito di ogni utente è fissato a 50.000 €/anno, corrispondente ad un valore di aliquota media del 31%.
- Non è presente autoconsumo reale, ma tutta l'energia viene immessa o prelevata dalla rete.

Analisi energetica

La curva di carico dei consumi della comunità in inverno viene confrontata con quella di un utente residenziale italiano medio, definita dallo studio «Analisi ed evoluzione negli anni delle curve di carico dei clienti domestici».
L'andamento delle due curve appare molto simile. Nei giorni feriali, si possono evidenziare tre picchi, uno alle otto del mattino, uno all'ora di pranzo e uno alle 21:00, seguiti da altrettante valli; il sabato la curva tende a crescere in modo più graduale fino ad un picco serale, mentre nei giorni festivi sono presenti due picchi, uno al mattino e uno alla sera.

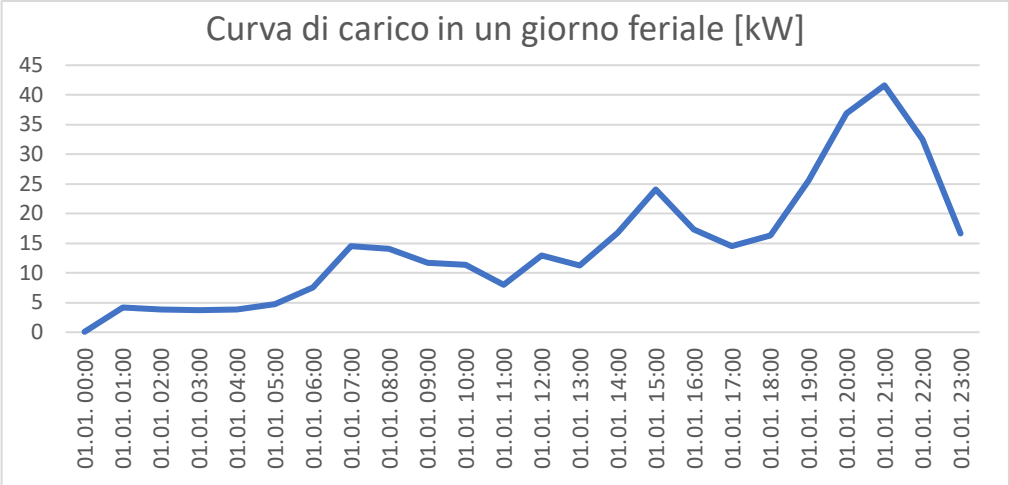


Figura 104 – Caso studio 1: Curva di carico della CER in un giorno feriale

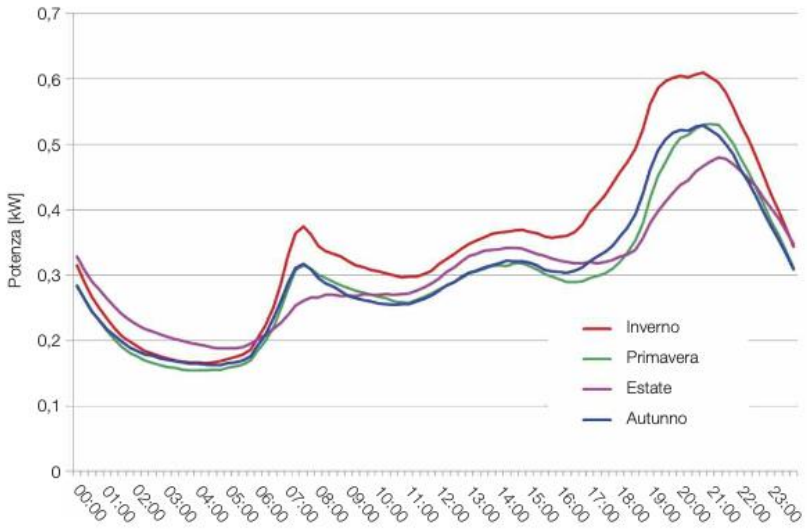


Figura 105 – Caso studio 1: Curva di carico di un utente residenziale medio in un giorno feriale

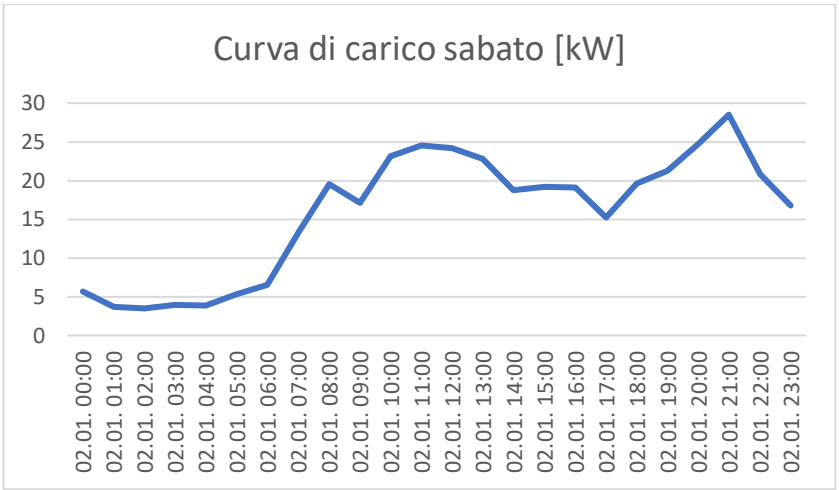


Figura 106 – Caso studio 1: Curva di carico della CER di sabato

Figura 107 – Caso studio 1: Curva di carico di un utente residenziale medio di sabato

Figura 108 - Caso studio 1: Curva di carico della CER in un giorno festivo

Figura 109 - Caso studio 1: Curva di carico di un utente residenziale medio in un giorno feriale

Analisi al variare della potenza dell'impianto

Installare un impianto da 10 kW, la cui proprietà è ripartita equamente fra gli utenti, permette di avere una produzione fotovoltaica di 13,8 MWh/anno, tutta immessa in rete. Analizzando le curve di carico e di produzione della CER si può vedere che, in ogni momento, il minimo tra i consumi e la produzione della comunità è rappresentato dalla produzione; tutta l'energia immessa in rete, allora, viene incentivata.

Figura 110 – Caso studio 1: Panoramica della comunità per un impianto da 10 kW

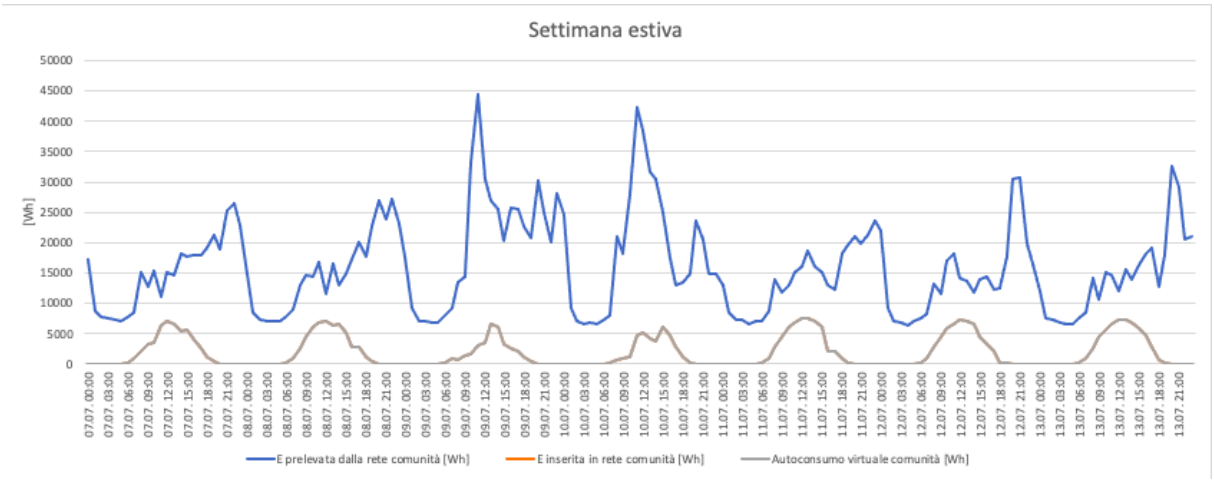


Figura 111 - Caso studio 1: Curva di carico e di produzione in una settimana estiva con un impianto da 10 kW

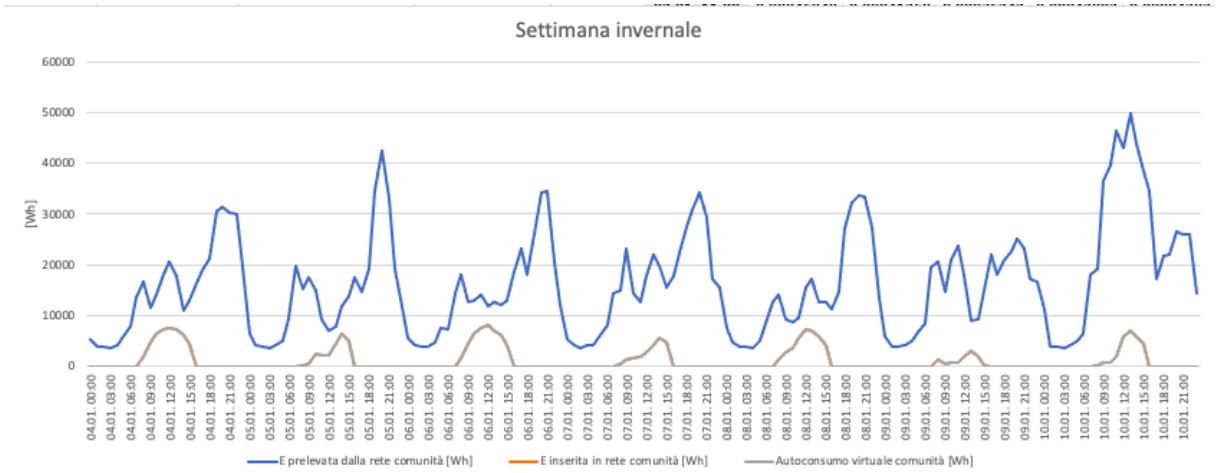


Figura 112 - Caso studio 1: Curva di carico e di produzione in una settimana invernale con un impianto da 10 kW

L'energia autocondivisa virtuale è 13,8 MWh/anno, mentre il suo rapporto con l'energia consumata dalla comunità è 10,6%. La mancata emissione di CO_2 è di 5,73 ton/anno. Gli incentivi per la comunità sono 1.635 €/anno, tutti corrisposti alla produzione e divisi equamente tra gli utenti.

Per dare un'indicazione dei vantaggi economici degli utenti che entrano a far parte della CER, vengono selezionati tre utenti di riferimento: un utente residenziale composto da una donna over 65, un utente composto da una coppia tra i 30 e i 64 anni, entrambi lavoratori, e uno composto da una famiglia con tre figli, in cui entrambi i genitori lavorano. Le curve di carico vengono paragonate nel caso di un giorno feriale, sabato e un giorno festivo. Nel giorno feriale, l'andamento delle curve di carico risulta simile, con un aumento durante le prime ore della mattina e durante la sera, a cui l'utente medio aggiunge un picco pomeridiano. In particolare, l'utente piccolo presenta tre picchi, uno alle 8:00, uno alle 10:00 e uno alle 19:00; tra di essi, la curva di carico raggiunge valori molto vicini allo zero. L'utente medio ha un carico di base maggiore, che culmina in una serie di picchi: alle 8:00, alle 14:00, alle 16:00 e alle 19:00. L'utente grande ha un carico di base basso e presenta tre picchi: uno alle 8:00, uno alle 10:00 e uno alle 20:00.

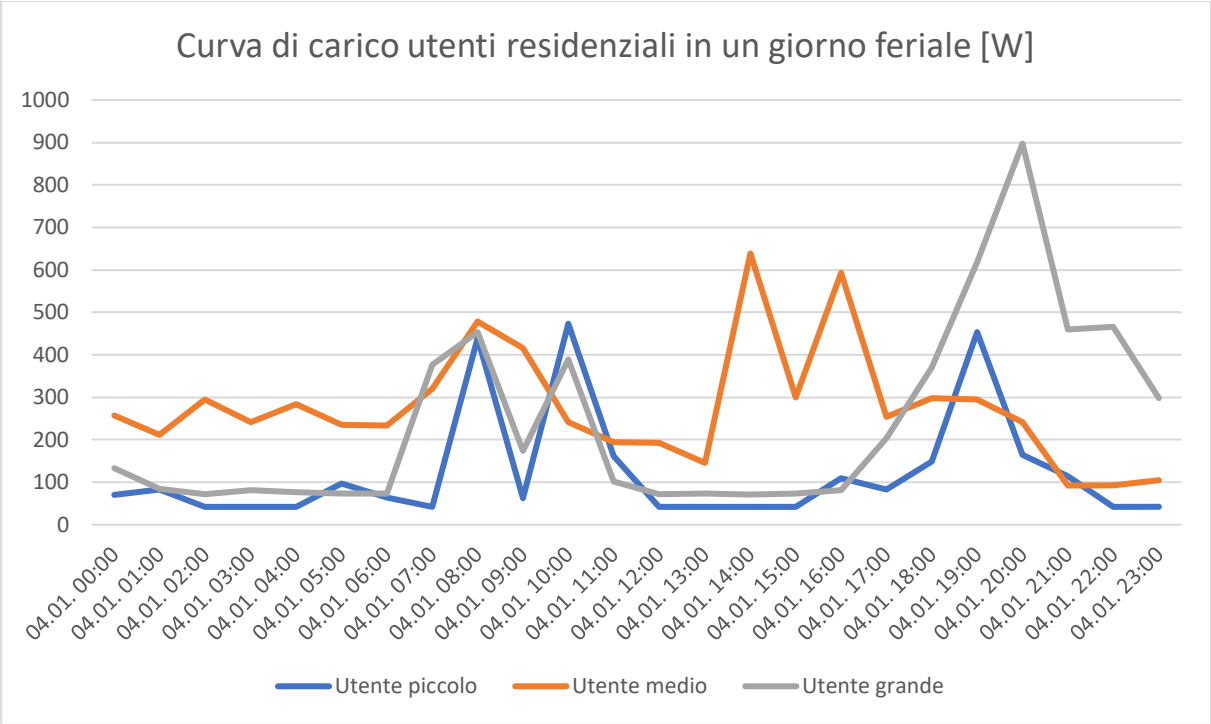


Figura 113 – Caso studio 1: Curva di carico degli utenti residenziali in un giorno feriale

Nel caso del sabato, tutte le curve presentano un aumento nel carico durante le prime ore della mattina e verso sera; l'utente medio ha un picco rilevante durante il pomeriggio, mentre il carico serale è meno marcato.

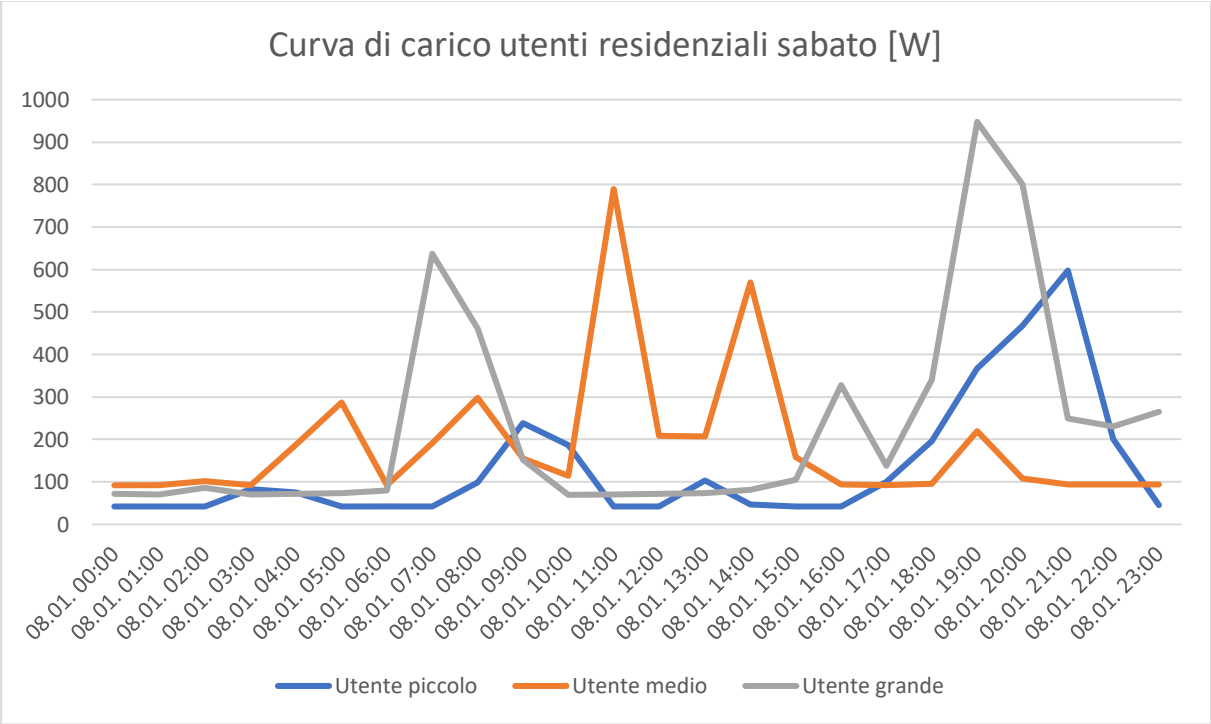


Figura 114 – Caso studio 1: Curva di carico degli utenti residenziali sabato

Nel giorno festivo, l'utente piccolo presenta quattro picchi, via via maggiori: alle 9:00, alle 12:00, alle 17:00 e alle 20.00, L'utente medio ha un andamento crescente fino al picco delle

11:00, per poi identificare altri due massimi, intervallati da altrettante valli, uno alle 16:00 e uno alle 20:00. L'utente grande ha quattro picchi: due più marcati al mattino, uno alle 8:00 e uno alle 11:00, e due meno alla sera, uno alle 17:00 e uno alle 20:00. Contrariamente agli altri casi considerati, nel giorno festivo il carico medio presenta picchi di maggiore intensità rispetto a quello grande.

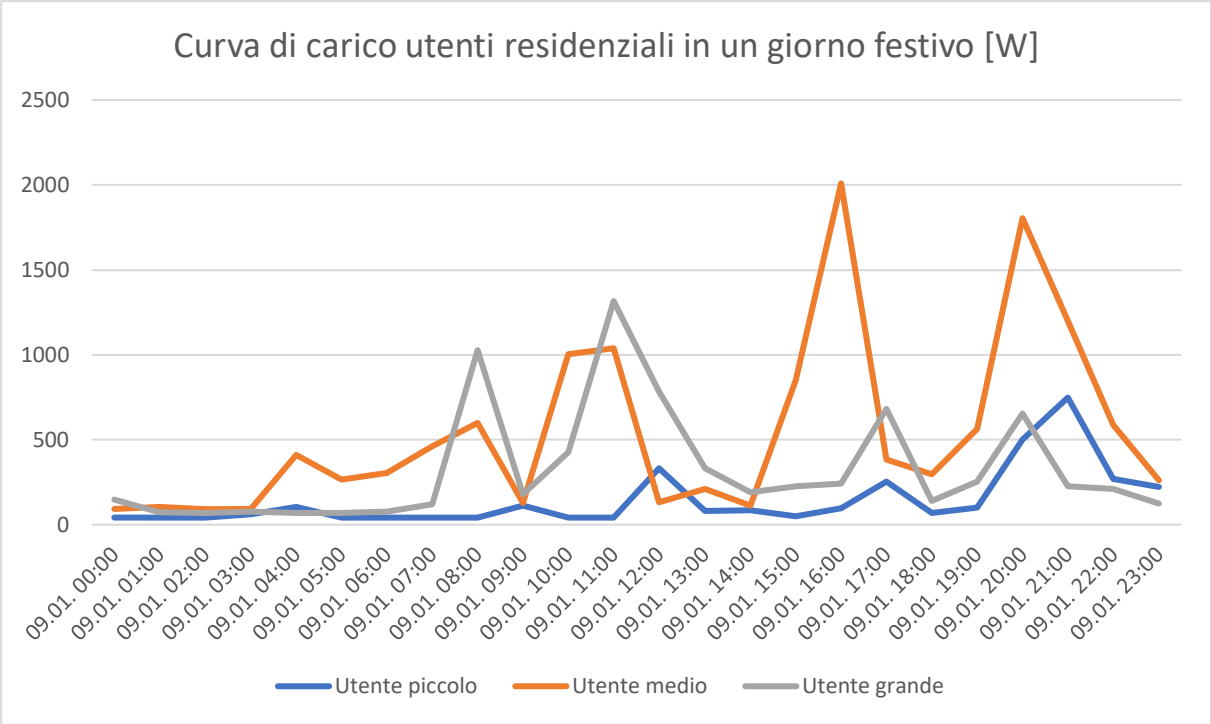


Figura 115 – Caso studio 1: Curva di carico degli utenti residenziali in un giorno festivo

Il vantaggio economico, uguale per tutti gli utenti, data la stessa percentuale di possesso dell'impianto e la stessa quota di incentivi, è riassunto nella tabella 11:

Tabella 12 – Caso studio 1: Indicatori economici per l'impianto da 10 kW

UTENTE	Consumo annuo [kWh/anno]	Spesa per l'energia elettrica [euro/anno]	Investimento [euro]	VAN al ventesimo anno [euro]	Tempo di ritorno [anni]	VAN/I
PICCOLO	1.185	380	460	610	7,8	1,3
MEDIO	2.460	690	460	610	7,8	1,3
GRANDE	2.920	795	460	610	7,8	1,3

Aumentando la potenza dell'impianto aumenta l'energia prodotta ed immessa in rete, così come l'energia autoconsumata virtuale dalla comunità e l'incentivo erogato dal GSE. La mancata emissione di CO_2 cresce linearmente con l'energia prodotta, essendo proporzionale ad essa.

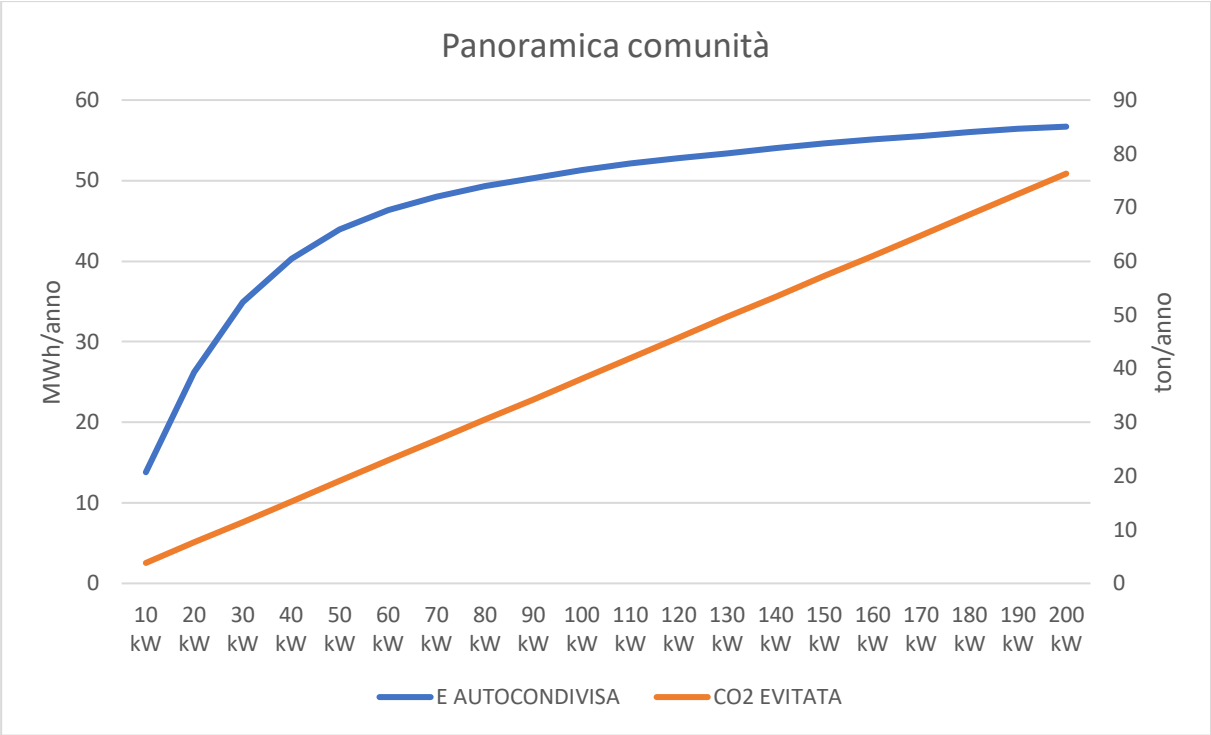


Figura 116 – Caso studio 1: Andamento dell'energia autocondivisa virtuale e della mancata emissione all'aumentare della potenza dell'impianto

L'andamento dell'energia autocondivisa virtuale è tale poiché man mano che la potenza cresce, aumenta l'energia prodotta; in molti momenti durante l'anno, però, non sono presenti carichi sufficienti per autocondividerla. Di conseguenza, il valore dell'energia autocondivisa viene limitato dai carichi. Una rappresentazione di questo fenomeno si può vedere analizzando le curve di carico e di produzione per potenze di 50 kW e 100 kW e vedendo come, all'aumento della potenza, la curva di produzione cresca, ma gli incentivi no essendo limitati dai carichi. La percentuale di energia prodotta che viene incentivata diminuisce all'aumentare della potenza.

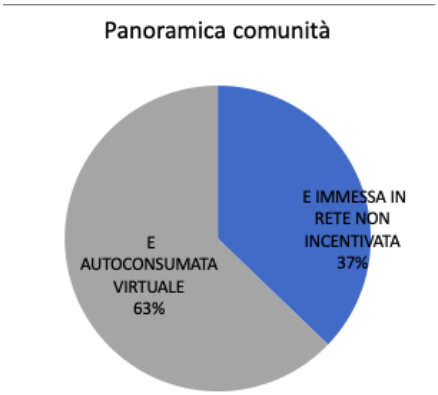


Figura 117 –Caso studio 1: Panoramica comunità per un impianto da 50 kW

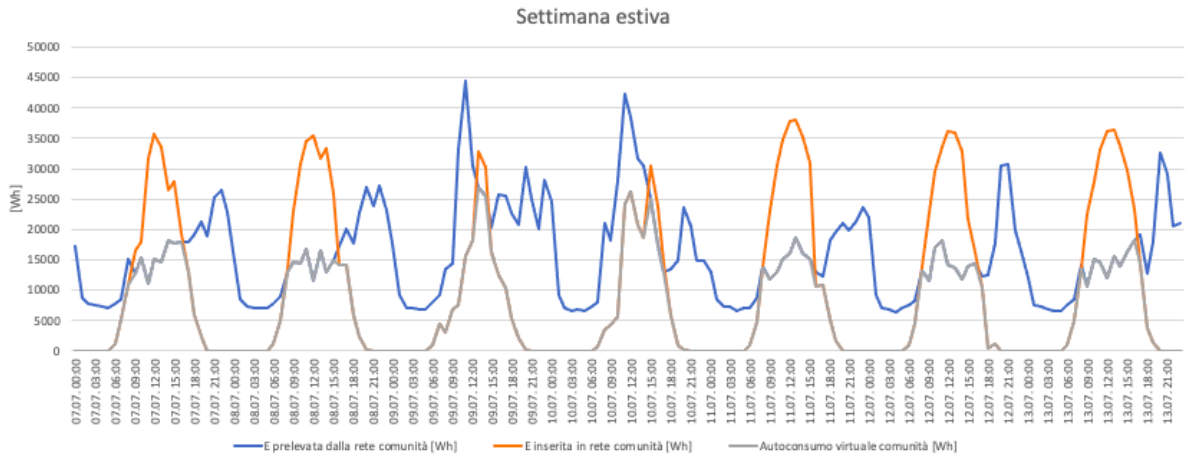


Figura 118 – Caso studio 1: Curva di carico e di produzione della comunità per un impianto da 50 kW nella settimana estiva

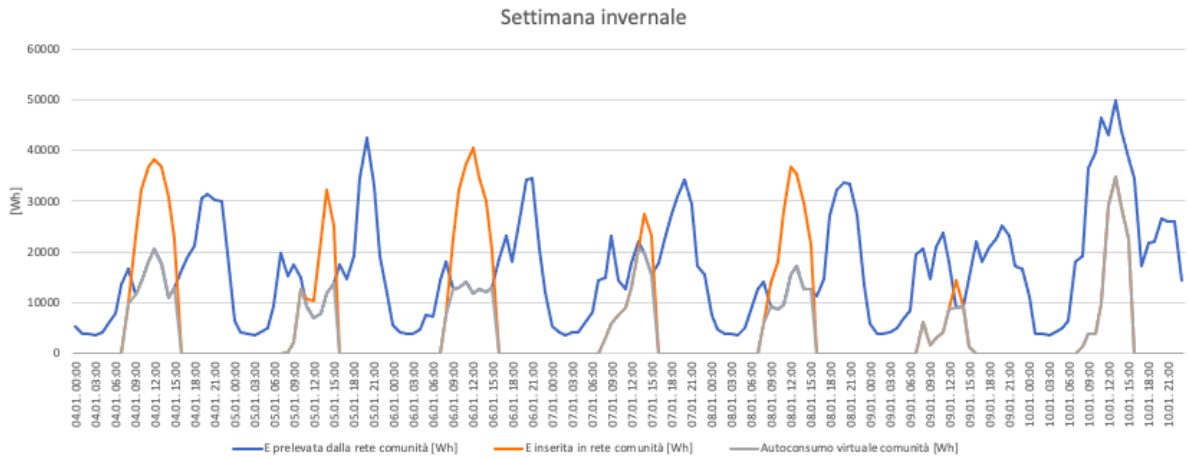


Figura 119 – Caso studio 1: Curva di carico e di produzione della comunità per un impianto da 50 kW nella settimana invernale

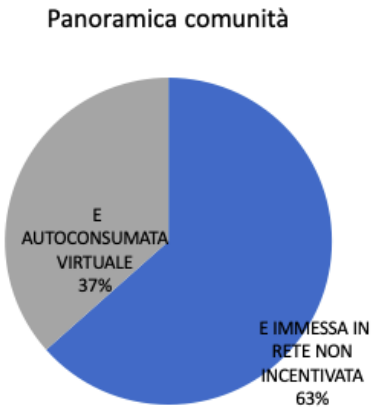


Figura 120 – Caso studio 1: Panoramica comunità per un impianto da 100 kW

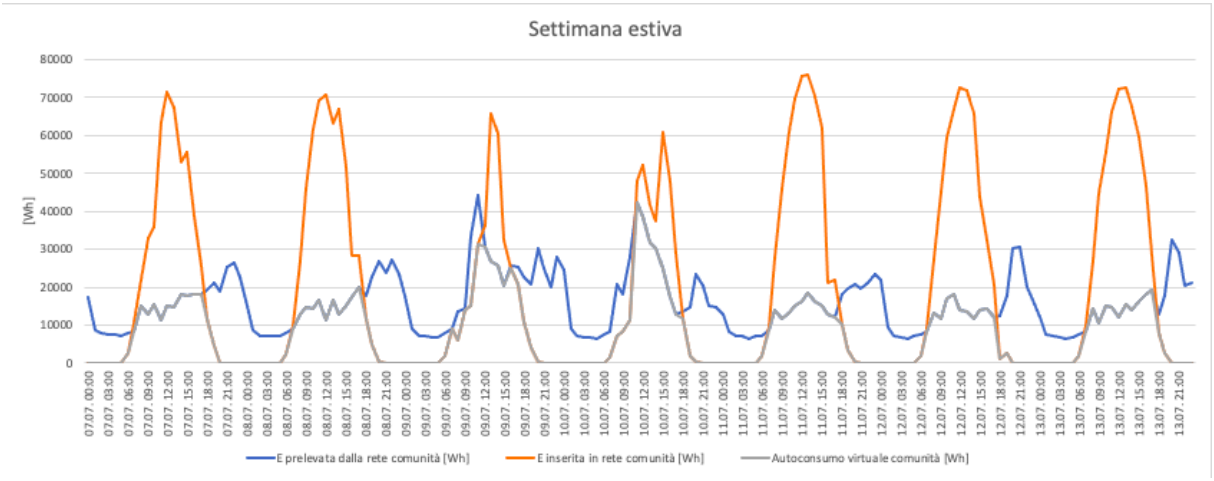


Figura 121 – Caso studio 1: Curva di carico e di produzione della comunità per un impianto da 100 kW nella settimana estiva

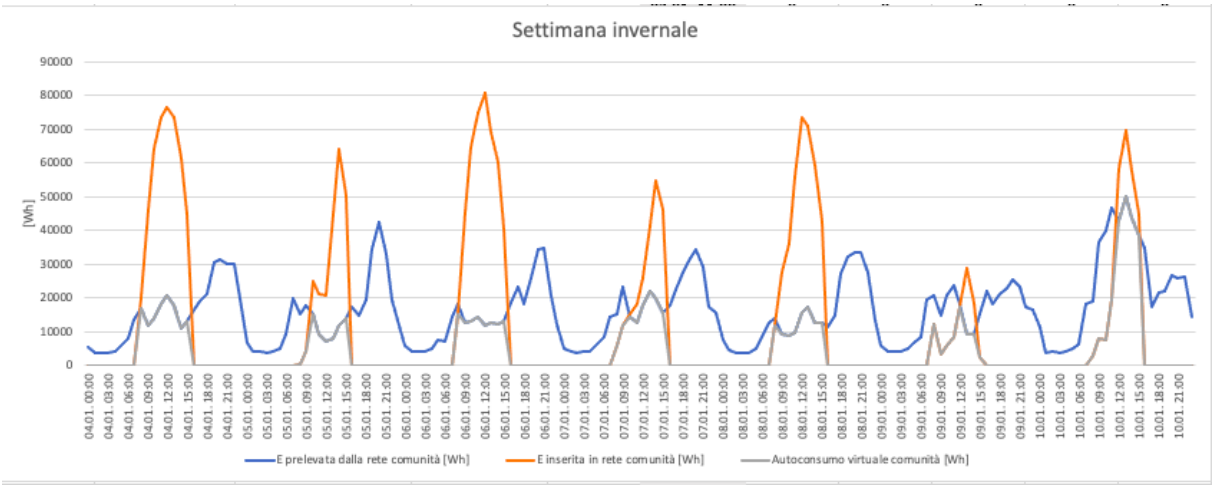


Figura 122 – Caso studio 1: Curva di carico e di produzione della comunità per un impianto da 50 kW nella settimana invernale

L'energia autocondivisa virtuale sull'energia prodotta ha, quindi, un andamento discendente al crescere della potenza dell'impianto.

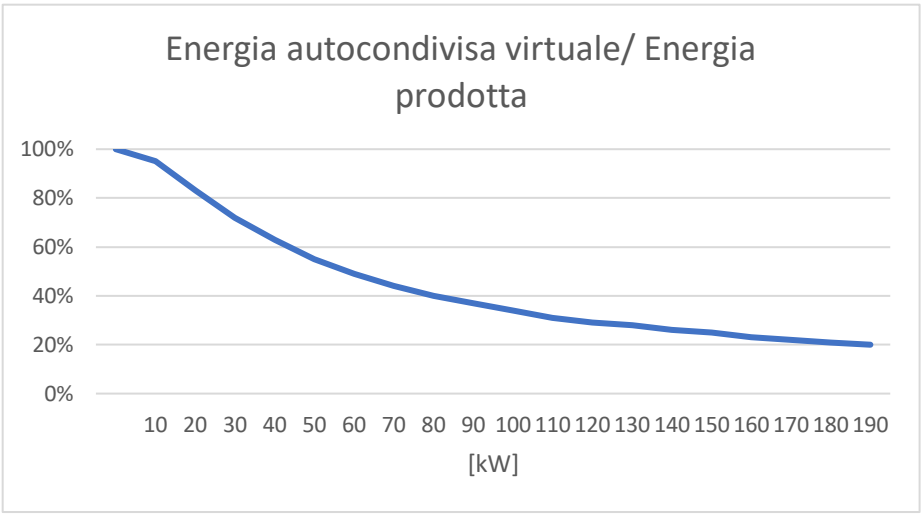


Figura 123 – Caso studio 1: Energia autocondivisa virtuale su energia prodotta al variare della potenza dell'impianto

L'incentivo per la comunità ha lo stesso andamento dell'energia autocondivisa virtuale al variare della potenza dell'impianto, essendo definito come il prodotto tra essa e i moltiplicatori definiti dal GSE. Esso passa da 1.635 €/anno nel caso di un impianto da 10 kW a 6.615 €/anno per l'impianto da 200 kW.

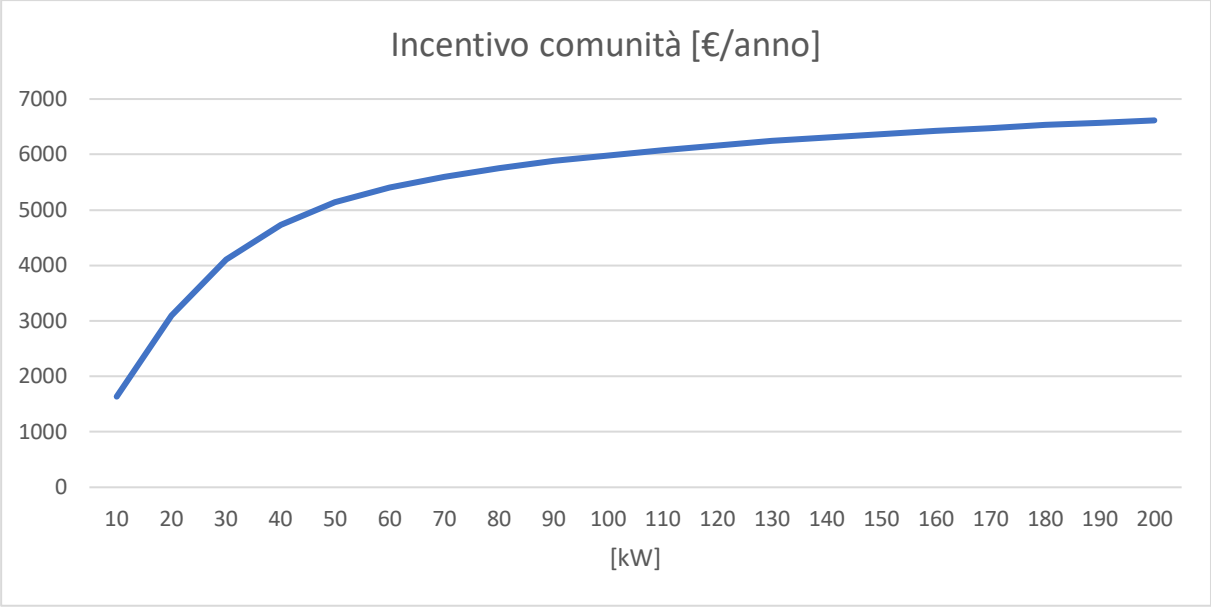


Figura 124 – Caso studio 1: Andamento dell'incentivo della comunità al variare della potenza dell'impianto

Il VAN al ventesimo anno degli utenti aumenta all'aumentare della potenza dell'impianto, fino ad un massimo di 3.530€ per 200 kW.

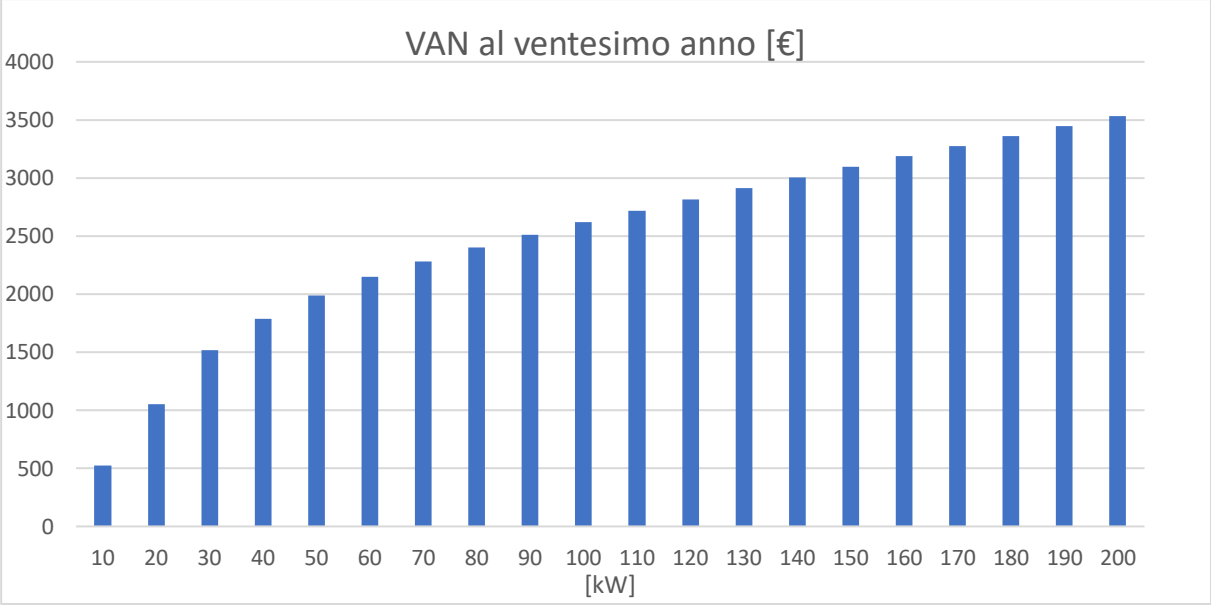


Figura 125 – Caso studio 1: VAN al ventesimo anno degli utenti della CER

VAN/I identifica un massimo per un impianto di 30 kW, valore per cui esso diventa pari a 2,2; la stessa potenza permette di minimizzare il tempo di ritorno e di renderlo 4,5 anni. Il massimo si verifica a 30 kW poiché essa è la prima potenza che minimizza il valore dell'investimento unitario; aumentare ancora la taglia permette di incrementare i ricavi, ma non in maniera sufficiente da compensare la crescita dell'investimento iniziale. Il minimo del VAN/I si verifica per un impianto da 200 kW a causa della crescita molto lenta degli incentivi, che rimangono pressoché costanti alle grandi potenze, a fronte di una crescita proporzionale dell'investimento.
Il tempo di ritorno va da un massimo di 9 anni per un impianto da 200 kW ad un minimo di 4,5 per uno da 30 kW.

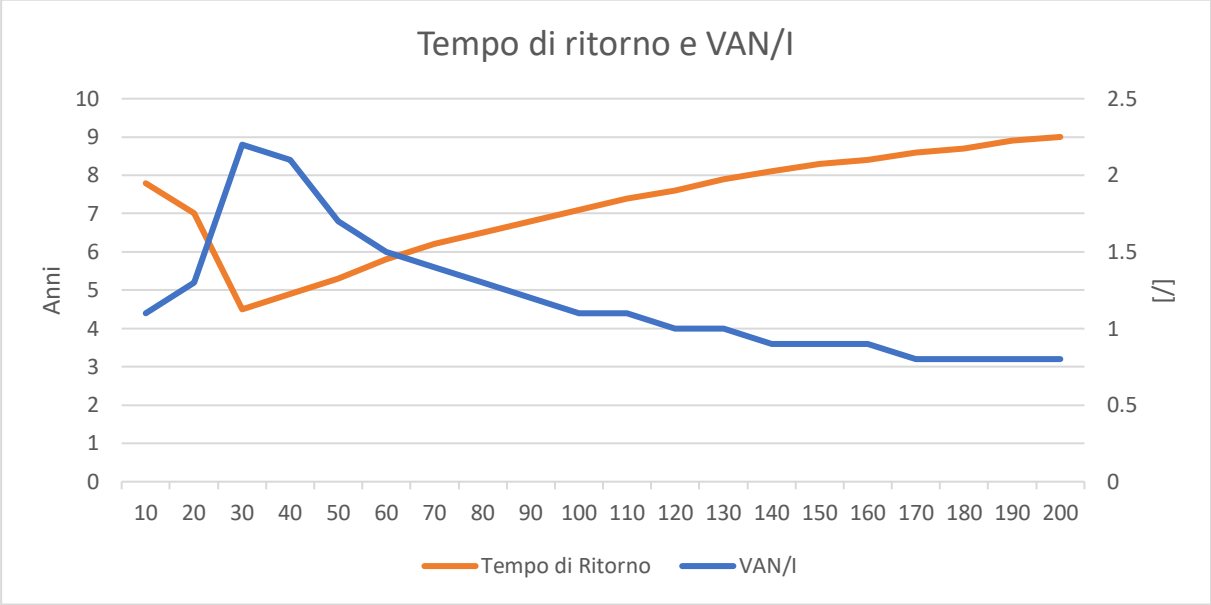


Figura 126 – Caso studio 1: Tempo di ritorno e indice di profittabilità al variare della potenza dell'impianto

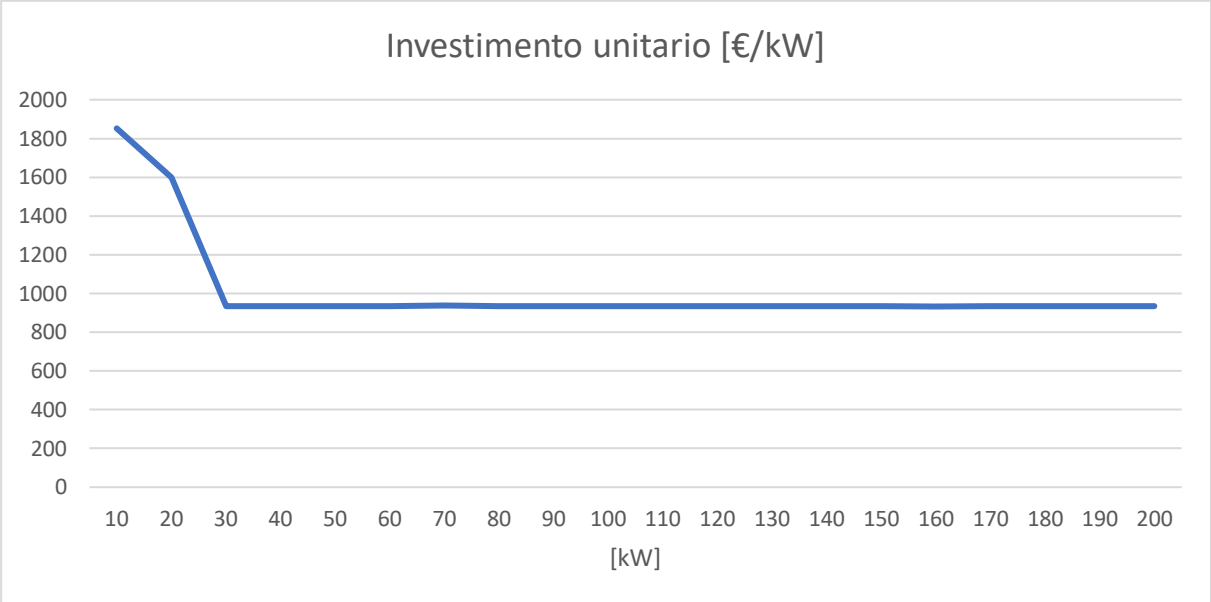


Figura 127 – Caso studio 1: Investimento unitario al variare della potenza dell'impianto

Il maggiore vantaggio ambientale ed economico in questa configurazione si ottiene con un impianto da 200 kW, a fronte di un investimento di 4.670 €; in questo caso, però, il rendimento dell'investimento è minimo. Per massimizzare il VAN/I, si raccomanda la configurazione da 30 kW, che ottiene un VAN al ventesimo anno di 1.680 €, a fronte di un investimento iniziale di 700 €.
Nel caso dell'impianto da 200 kW, valore per cui il VAN degli utenti viene massimizzato, viene calcolato l'equivalente risparmio annuale in bolletta ottenuto suddividendo il valore del VAN nei vent'anni. Il risparmio in bolletta risulta elevato, passando da 46,5% nel caso dell'utente piccolo al 22,2% nel caso del grande.

Tabella 13 - Caso studio 1: Risparmio annuo in bolletta con un impianto da 200 kW

UTENTE	Consumo annuo [kWh/anno]	Spesa per l'energia elettrica [euro/anno]	VAN al ventesimo anno [euro]	Risparmio annuo percentuale in bolletta [%]
PICCOLO	1.185	380	3.530	46,5
MEDIO	2.460	690	3.530	25,6
GRANDE	2.920	795	3.530	22,2

Prova uno

L'obiettivo di questa prova è confrontare i risultati ottenuti nella configurazione precedente con quelli in cui il singolo impianto fotovoltaico, posizionato a terra, sia sostituito da cinque impianti di potenza inferiore sui tetti dei condomini.

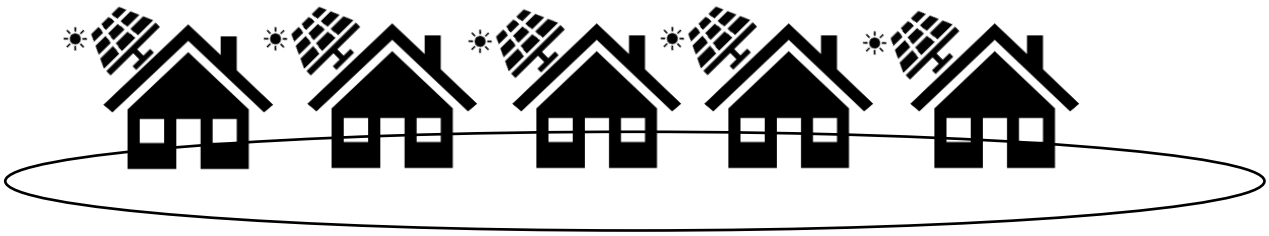


Figura 128 – Caso studio 1: Configurazione della CER nella prova uno

La potenza complessiva installata nella CER rimane costante, ma viene ripartita tra cinque impianti di taglia minore. La proprietà degli impianti viene suddivisa tra gli otto utenti che fanno parte di ogni condominio, ottenendo una percentuale di possesso del 12,5% a testa. Anche in questo caso, gli incentivi del GSE sono tutti destinati alla produzione e ripartiti equamente fra gli utenti.
La dimensione degli impianti sui tetti dei condomini viene calcolata ipotizzando di utilizzare pannelli fotovoltaici di 1,65 mq e potenze di 280 W o 360 W. La superficie totale dell'impianto diventa:

Tabella 14 - Caso studio 1: Superficie degli impianti fotovoltaici sul tetto al variare della potenza

POTENZA SINGOLO IMPIANTO [kW]	POTENZA COMPLESSIVA COMUNITA' [kW]	POTENZA PANNELLO [W]	NUMERO DI PANNELLI	SUPERFICIE TOTALE [m^2]
2	10	280 360	8 6	13,2 9,9
10	50	280 360	36 28	59,4 46,2
20	100	280 360	72 56	118,8 92,4
30	150	280 360	108 84	178,2 139
40	200	280 360	143 112	236 185

Da un punto di vista energetico e ambientale, non si registra alcuna variazione rispetto alla configurazione di partenza, essendo costante la potenza complessiva installata nella CER.

Il VAN al ventesimo anno degli utenti risulta minore nel caso dei cinque impianti: i ricavi presenti sono gli stessi in entrambe le configurazioni, ma sia le spese di O&M e del GSE sono maggiori nel caso degli impianti sul tetto che l'investimento unitario per le potenze fino a 100 kW. Fino a questa potenza complessiva, infatti, i cinque impianti rientrano della fascia di prezzo residenziale, mentre il singolo in quella di prezzo commerciale, causando una grande variazione nell'investimento unitario. La differenza nel VAN è più marcata per potenze comprese tra i 20 kW e i 110 kW, essendo presente la più grande variazione dell'investimento unitario. Oltre i 110 kW, la variazione si mantiene intorno al -1% ed è dovuta ad una quota di spese maggiori per ogni utente.

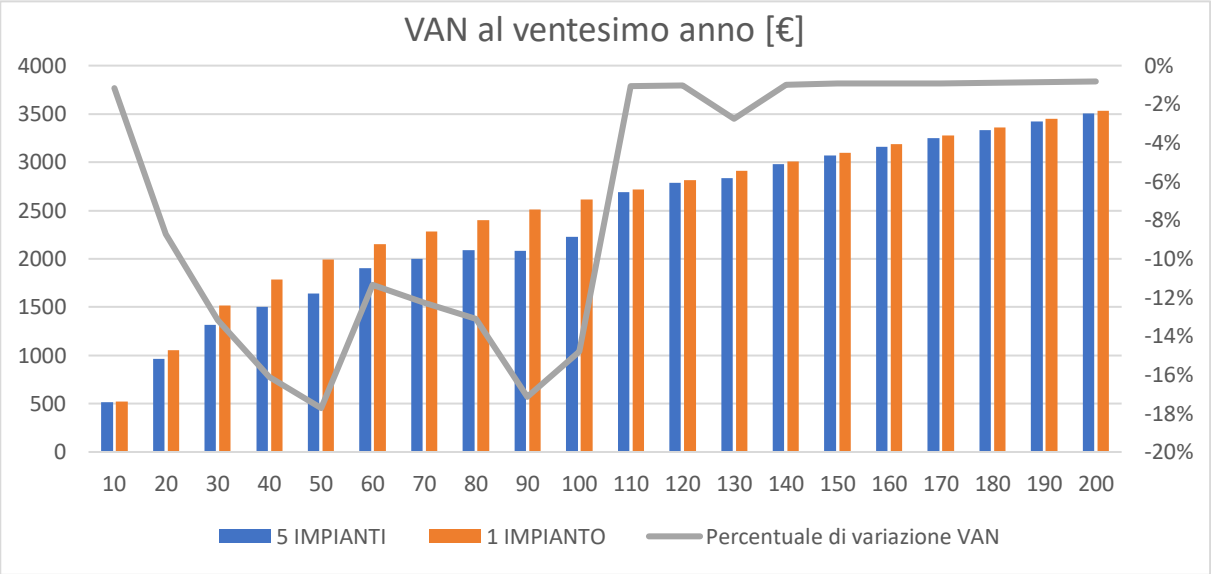


Figura 129 – Caso studio 1: VAN al ventesimo anno e variazione percentuale al variare della potenza complessiva

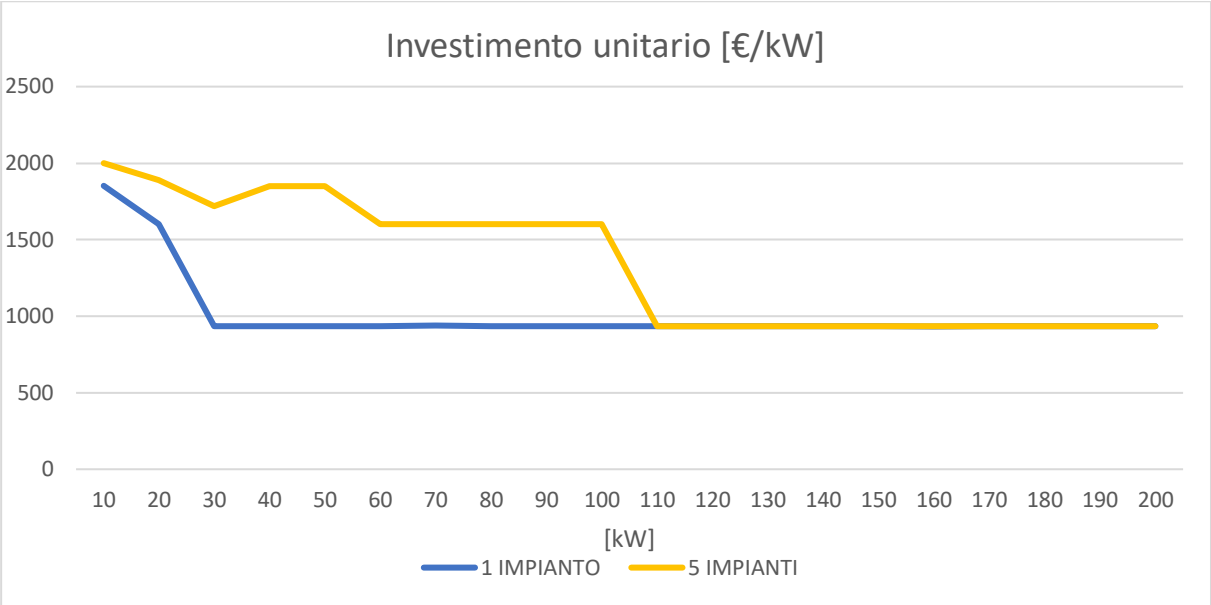


Figura 130 - Caso studio 1: Investimento unitario al variare della potenza complessiva

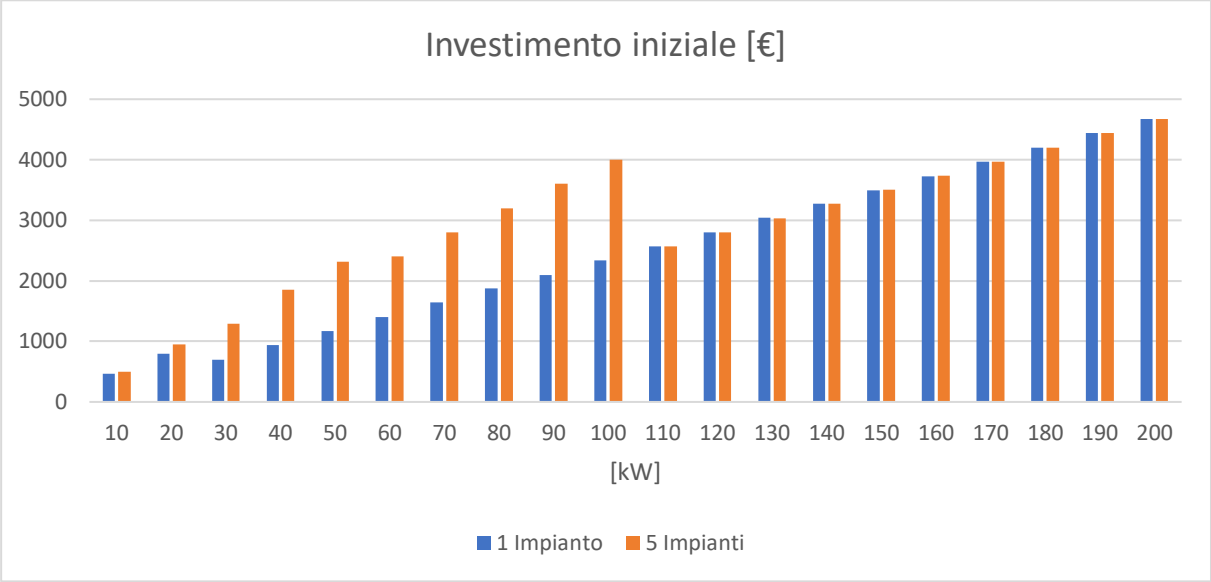


Figura 131: Caso studio 1: Investimento iniziale al variare della potenza complessiva

Il tempo di ritorno e il VAN/I sono fortemente influenzati da queste considerazioni. Il tempo di ritorno è superiore a quello del caso dell'unico impianto per potenza inferiori a 100 kW, a causa del maggiore investimento iniziale che gli utenti si trovano ad affrontare, pur ottenendo gli stessi ricavi. Il minimo tempo di ritorno si verifica per una potenza complessiva di 110 kW, primo valore in cui il costo di investimento unitario dei cinque impianti equivale quello di un singolo impianto.

L’andamento del VAN/I è peggiore nel caso dei cinque impianti rispetto a quello di un singolo impianto, fino alla potenza di 100 kW, valore per cui l’investimento iniziale è molto differente. Il massimo si verifica per 110 kW di potenza complessiva e vale 1,0 contro 2,2 che si otteneva per 30 kW di un singolo impianto.

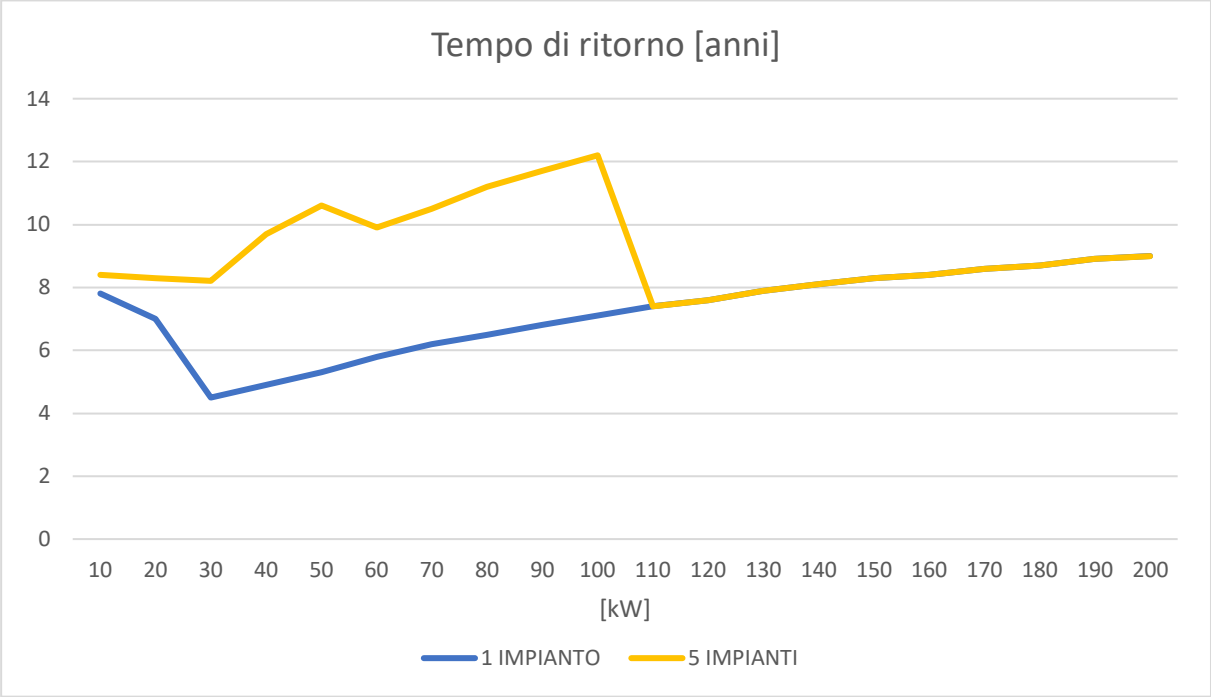


Figura 132 - Caso studio 1: Tempo di ritorno al variare della potenza complessiva

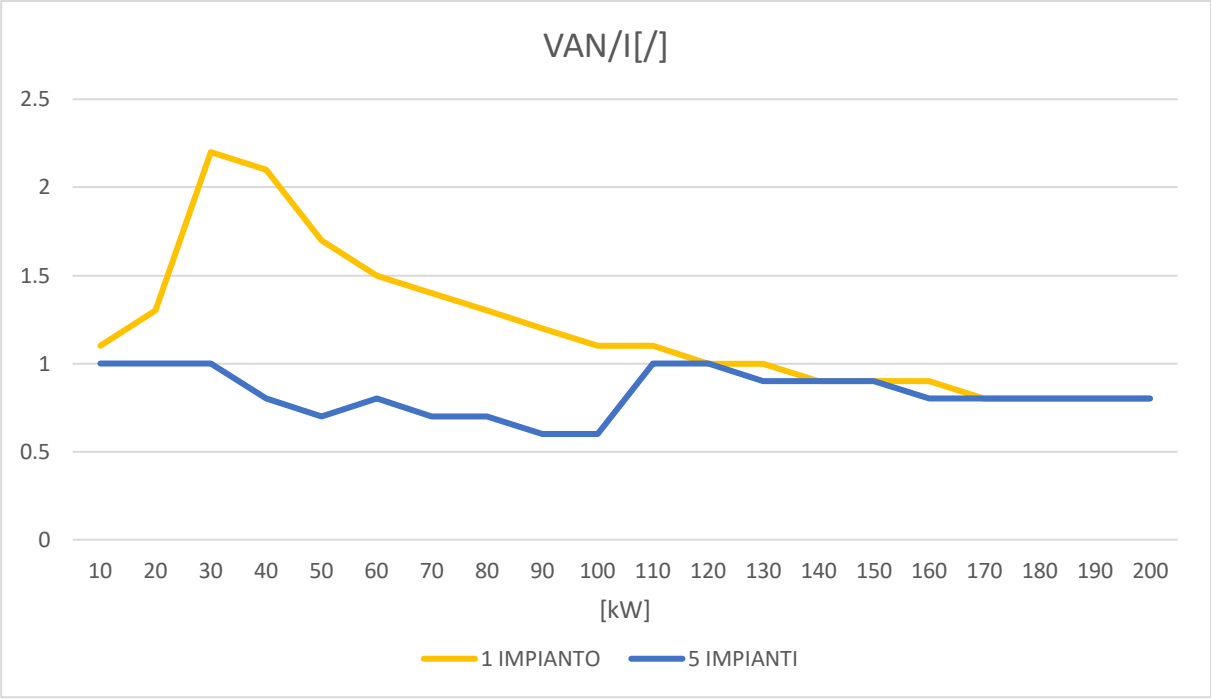


Figura 133 – Caso studio 1: VAN/I al variare della potenza complessiva

Concludendo, la scelta di realizzare più impianti da installare sul tetto piuttosto di un unico impianto non comporta alcuna variazione da un punto di vista energetico ed ambientale, in

quanto la potenza complessiva installata nella CER rimane invariata. Dal punto di vista economico, installare più impianti porta ad un peggioramento dei parametri: il ricavo di ogni utente è lo stesso, ma aumenta la quota legata alle spese e l'investimento unitario per potenze complessive inferiori a 100 kW, potenze per cui il singolo impianto rientra in una fascia di prezzo commerciale, mentre gli impianti più piccoli in una fascia di prezzo maggiore. Il VAN per tutti gli utenti, così come il tempo di ritorno e il VAN/I risultano peggiorati. Rimane valida la condizione per cui aumentando la potenza complessiva aumenta il VAN degli utenti, ma l'investimento più redditizio diventa installare una potenza complessiva di 110 kW, primo valore per cui l'investimento unitario scende alla fascia di prezzo commerciale.
Se vi è la possibilità, quindi, è più economicamente conveniente installare un singolo impianto, piuttosto che più impianti di potenza inferiore.

Prova due

L'obiettivo della seconda prova è indentificare la variazione degli indicatori, energetici, ambientali ed economici, quando gli utenti residenziali entrano a far parte della CER solamente come consumatori, mentre l'impianto viene posseduto da un produttore esterno.

Figura 134 – Caso studio 1: Configurazione della CER nella prova 2

Gli incentivi vengono ripartiti nell'80% per il produttore e 20% per i consumatori, successivamente suddiviso in modo proporzionale ai consumi orari di ogni utente.
Viene considerata l'ipotesi che l'azienda realizzi l'ammortamento e la detrazione al 50%.
Dal punto di vista energetico ed ambientale, non vi è alcuna variazione rispetto alla configurazione di partenza, poiché la potenza installata nella comunità rimane costante.

I ricavi annuali degli utenti aumentano al crescere della potenza dell'impianto e variano in base al consumo: l'utente piccolo ha un ricavo annuale inferiore a 10 €, l'utente medio a 30€ e l'utente grande a 35€. Riferendosi alla spesa per l'energia elettrica degli utenti, il risparmio annuo in percentuale è del 2% circa per l'utente piccolo, del 3% per il medio e del 4% per il grande. Il guadagno economico, quindi, è molto minore rispetto alla configurazione di partenza e potrebbe non essere sufficiente per giustificare l'ingresso nella CER; esso, però, avviene a fronte di un investimento iniziale nullo. In conclusione, possedere una percentuale dell'impianto ed essere un prosumer permette di ottenere un vantaggio economico maggiore, a fronte di una quota di investimento iniziale.

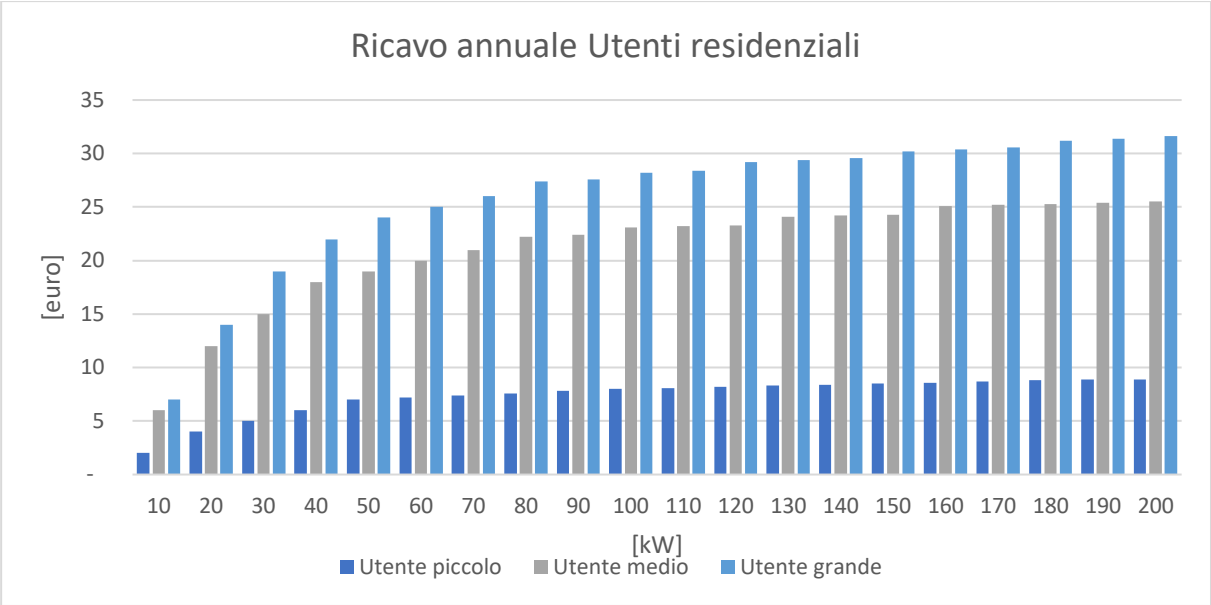


Figura 135 – Caso studio 1: Ricavo annuale degli utenti residenziali al variare della potenza dell'impianto

Per quanto riguarda il produttore, il VAN al ventesimo anno cresce al crescere della potenza dell'impianto, arrivando a 128.000€ per 200 kW, a fronte di un investimento iniziale di 186.830€. Il tempo di ritorno e il VAN/I hanno lo stesso andamento della configurazione iniziale: un impianto da 30 kW identifica il massimo del VAN/I, 1,5, e il minimo del tempo di ritorno, 5,4 anni.
Da un punto di vista economico, quindi, maggiore è la potenza, maggiore è il vantaggio degli utenti, sia consumatori che produttori. Il VAN viene massimizzato con la potenza di 200 kW, valore per cui però il VAN/I è minimo, così come il rendimento dell'investimento. Un impianto da 30 kW massimizza il rendimento e ottiene un VAN al ventesimo anno di 40.850€ per il produttore, con un investimento iniziale di 28.030€.

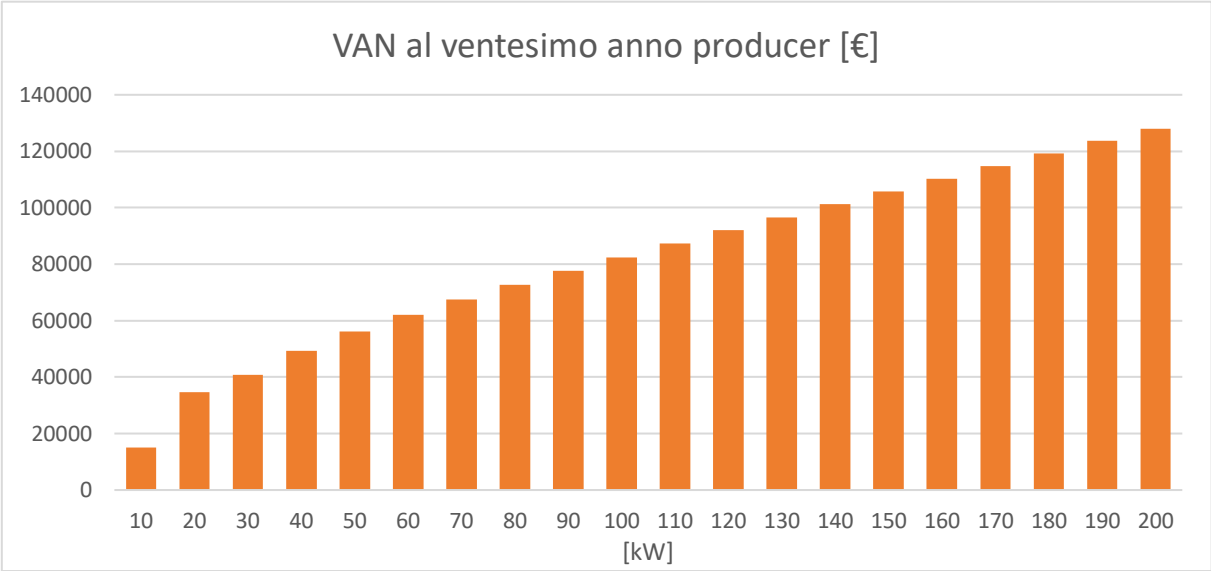


Figura 136 – Caso studio 1: Andamento del VAN del produttore al variare della potenza dell'impianto

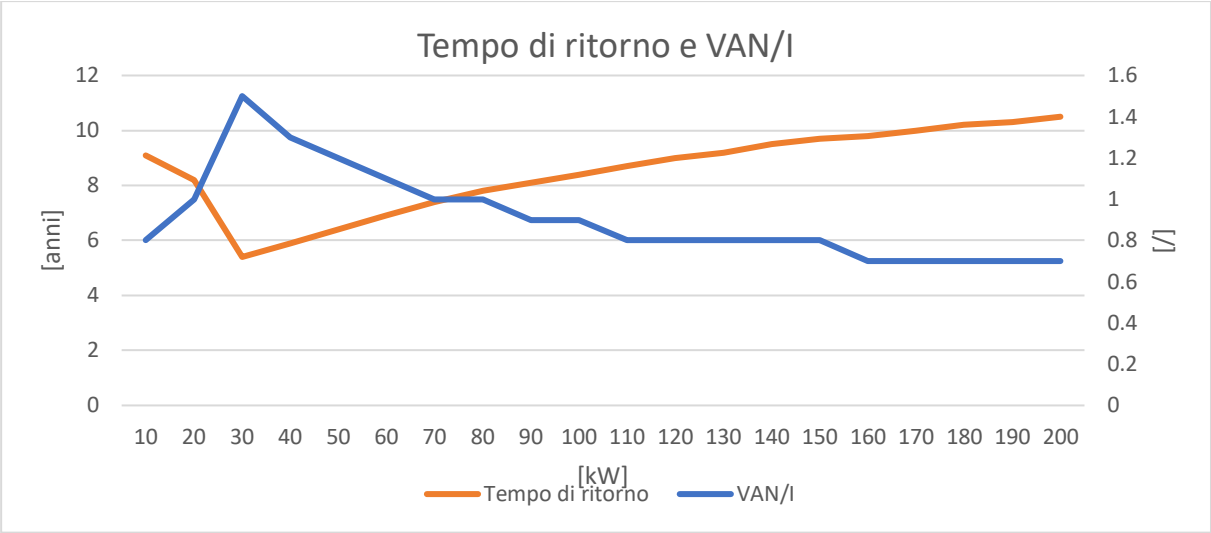


Figura 137 - Caso studio 1: Andamento del tempo di ritorno e di VAN/I al variare della potenza dell'impianto

Prova tre

Nella terza prova viene modificato il numero degli utenti residenziali, rendendolo il doppio, il triplo e il quadruplo. La proprietà dell'impianto viene ripartita equamente tra gli utenti e tutti gli incentivi del GSE vengono destinati alla produzione.

Dal punto di vista energetico, l'energia consumata dalla comunità è proporzionale al numero degli utenti. L'energia prodotta rimane costante in ogni configurazione, così come la potenza dell'impianto; di conseguenza, il rapporto tra l'energia prodotta e consumata diminuisce al crescere del numero degli utenti che fanno parte della CER, passando ad essere, per un impianto da 200 kW, più del doppio nella configurazione iniziale a circa la metà quando gli utenti sono il quadruplo.

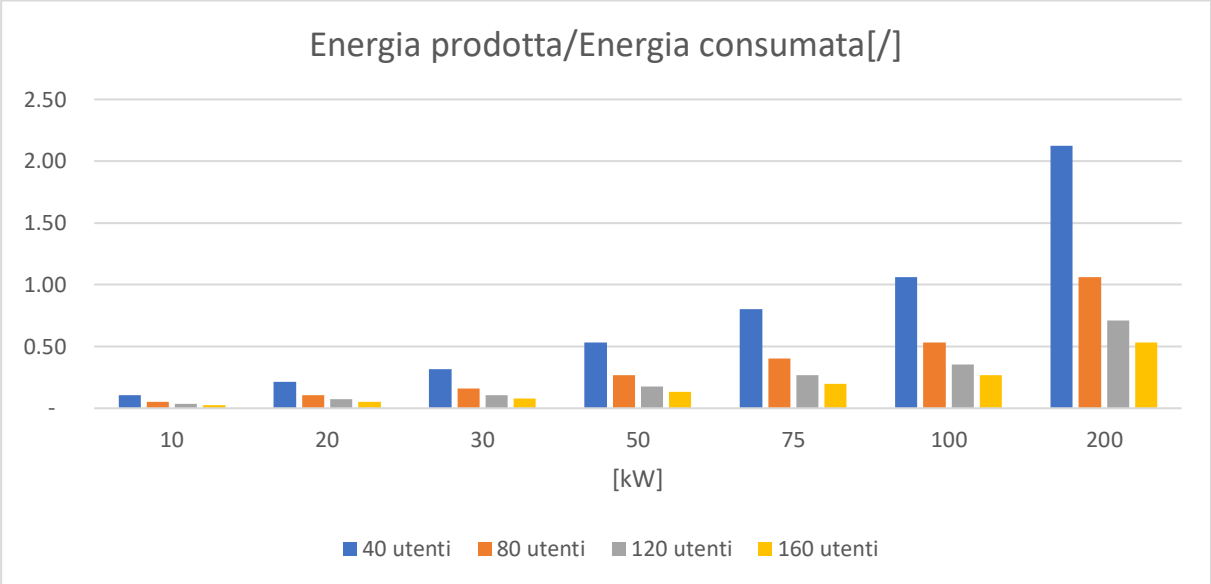


Figura 138 – Caso studio 1: Energia prodotta su energia consumata dalla comunità al crescere del numero degli utenti residenziali che la compongono

Aumentare il carico della comunità porta ad incrementare l'energia autocondivisa virtuale per le grandi potenze, dove il minimo tra consumi e produzioni era rappresentato dai consumi. Per le piccole potenze, già nella configurazione iniziale tutta l'energia immessa in rete era autocondivisa, per cui aumentare il numero degli utenti non genera alcuna variazione.

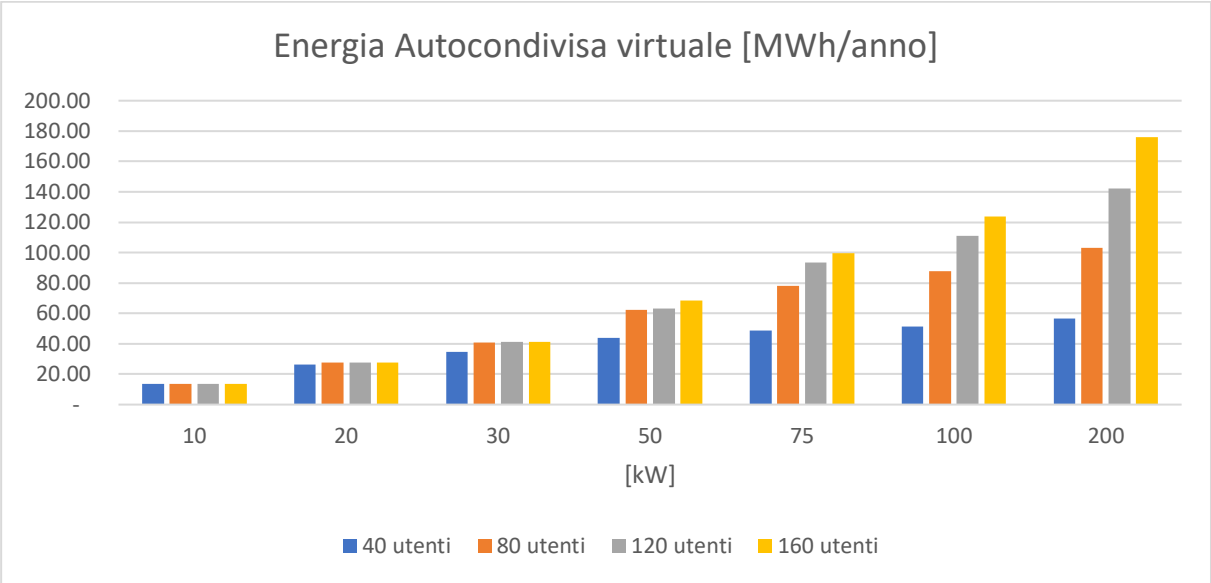


Figura 139 – Caso studio 1: Energia autocondivisa virtuale al variare del numero degli utenti

Il rapporto tra energia autocondivisa virtuale ed energia consumata dalla comunità varia all'aumentare del carico. Per tutte le configurazioni, una maggiore potenza dell'impianto permette di autoconsumare più energia. Aumentare il carico riduce il rapporto tra energia autocondivisa virtuale ed energia consumata nella comunità, poiché il denominatore aumenta più velocemente del numeratore.

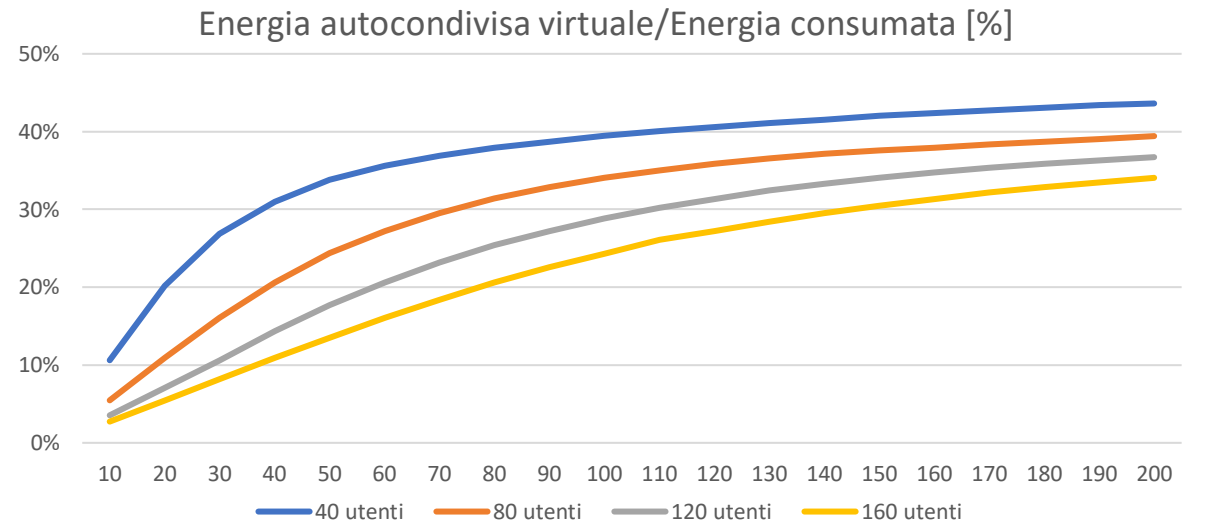


Figura 140 – Caso studio 1: Energia autocondivisa virtuale su energia consumata al variare del numero degli utenti

Aumentare il carico permette di aumentare la quota di energia che viene immessa in rete ed è autocondivisa. In particolare, per le piccole potenze dell'impianto, già tutta l'energia prodotta

viene autocondivisa; aumentare il numero degli utenti e, quindi, il carico non comporta alcuna variazione. Al crescere della potenza dell'impianto, aumentare il carico, che rappresenta il limite minore nel calcolo dell'energia autocondivisa, permette di incrementare il valore di quest'ultima.

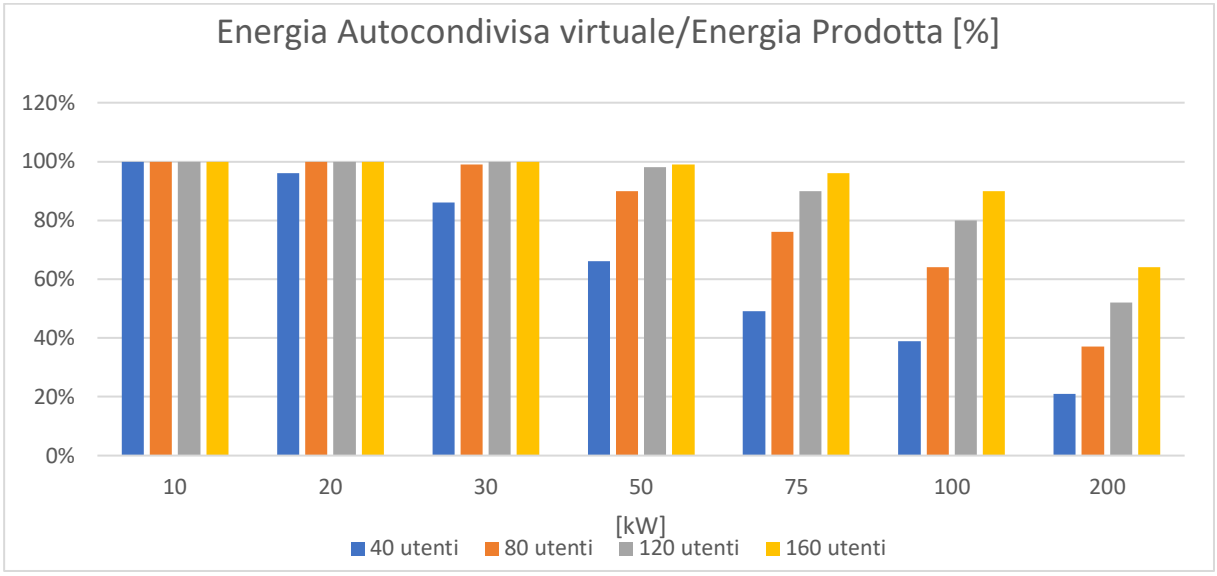


Figura 141 – Caso studio 1: Energia autocondivisa virtuale su energia prodotta al variare del numero degli utenti

Dal punto di vista ambientale, variare il numero degli utenti non comporta alcuna modifica, essendo la mancata emissione di CO_2 calcolata in funzione dell'energia prodotta, che rimane costante.

Il valore dell'incentivo della comunità segue lo stesso andamento dell'energia autocondivisa virtuale: per piccole potenze, è lo stesso per tutte le configurazioni, mentre, per potenze più elevate, cresce con il carico.

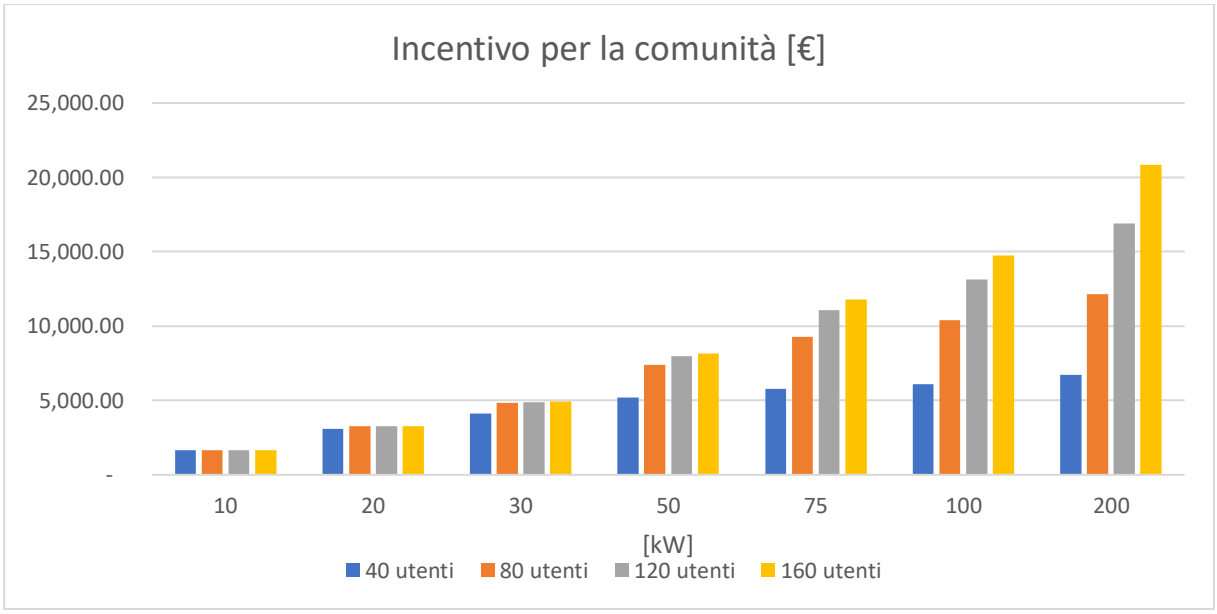


Figura 142 – Caso studio 1: Incentivo per la comunità al variare del numero degli utenti

Considerando il VAN degli utenti, esso aumenta in tutte le configurazioni all'aumentare della potenza dell'impianto, poiché si verifica una crescita nell'energia autocondivisa virtuale e negli incentivi.
Per il piccolo utente con una spesa annua per l'energia elettrica di 380 €/anno, il risparmio annuo che si ottiene dall'investimento varia tra il 5% e il 93%, a seconda della potenza dell'impianto e della configurazione della CER, per l'utente medio tra il 3% e il 51% e per il grande tra il 3% e il 45%. La differenza nei valori percentuali è dovuta al fatto che gli utenti possiedono la stessa percentuale dell'impianto, ottenendo lo stesso valore del VAN al ventesimo anno, ma hanno consumi e spese per l'energia elettrica differenti.
Per potenze minori di 100 kW, aumentare il numero degli utenti riduce il VAN, poiché, nonostante l'investimento e le spese vengano ripartite in più parti, lo stesso viene fatto anche con gli incentivi per la comunità. La riduzione dei ricavi risulta maggiore di quella delle spese, causando una diminuzione del VAN. Man mano che la potenza dell'impianto aumenta, aumentare il numero degli utenti e il carico della comunità permette di aumentare l'energia autoconsumata e gli incentivi. Il ricavo annuo per ogni utente cresce al punto che nella configurazione da 200 kW, il VAN delle CER con un numero maggiore di membri supera quello della CER iniziale, pur essendo realizzato a fronte della metà o di un quarto dell'investimento.

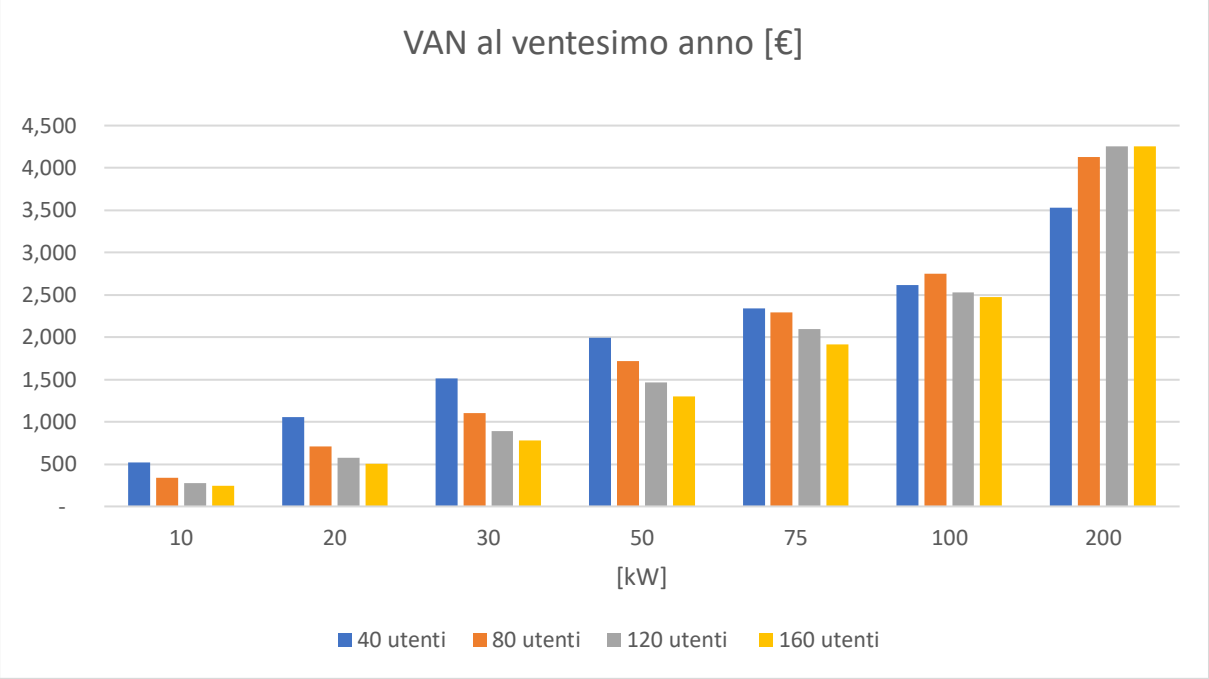


Figura 143 – Caso studio 1: VAN al ventesimo anno al variare del numero degli utenti

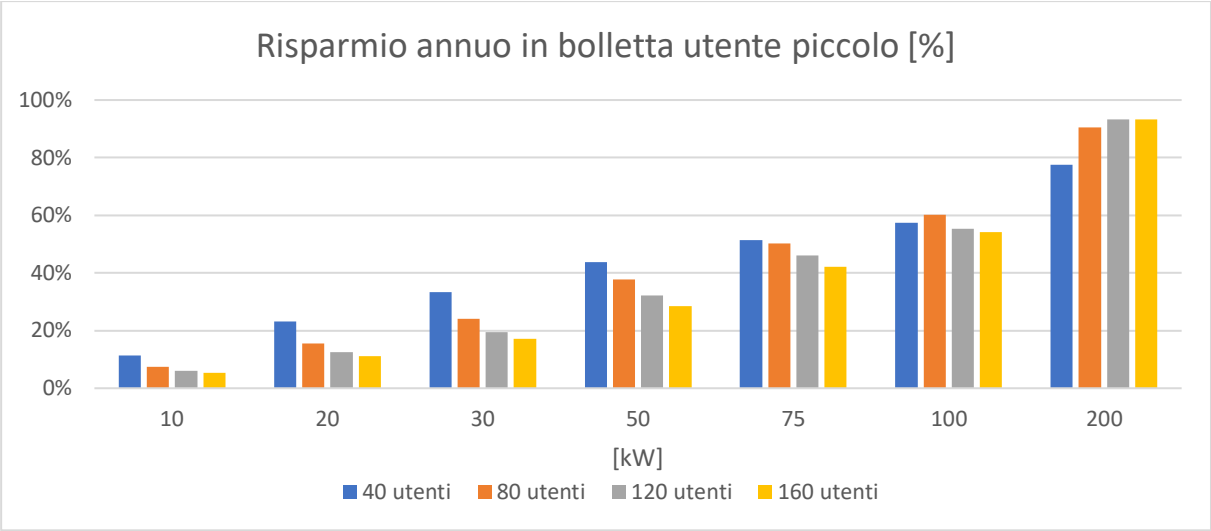


Figura 144 – Caso studio 1: Risparmio annuo in bolletta per l'utente piccolo al variare del numero degli utenti

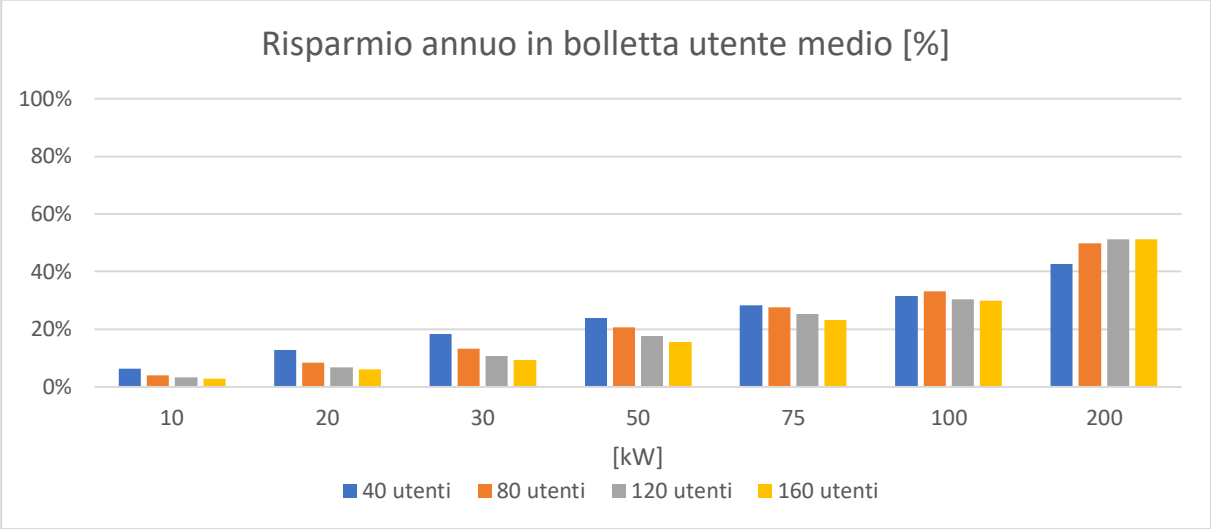


Figura 145 – Caso studio 1: Risparmio annuo in bolletta per l'utente medio al variare del numero degli utenti

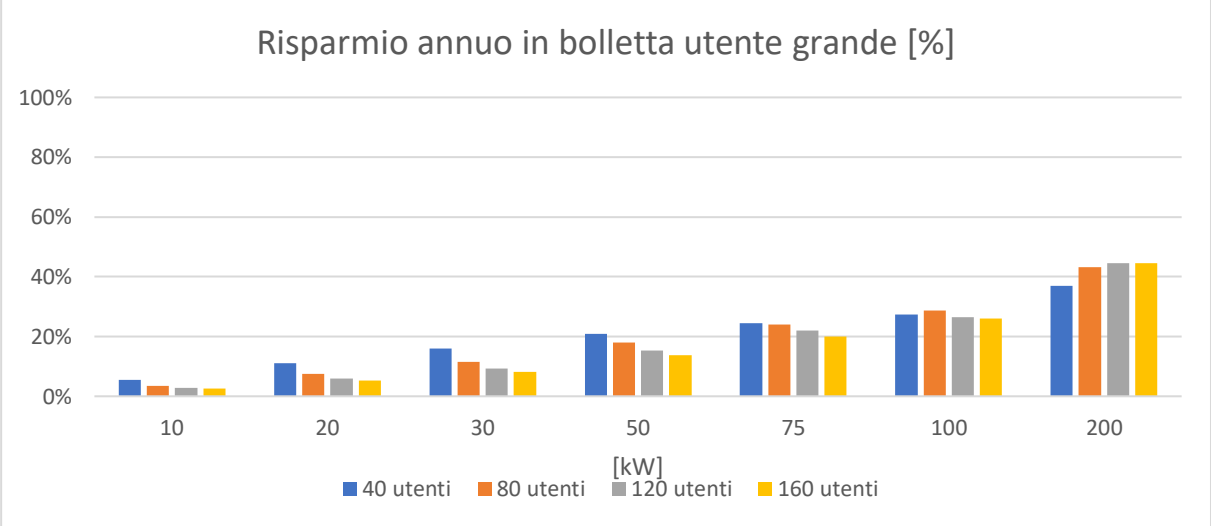


Figura 146 – Caso studio 1: Risparmio annuo in bolletta per l'utente grande al variare del numero degli utenti

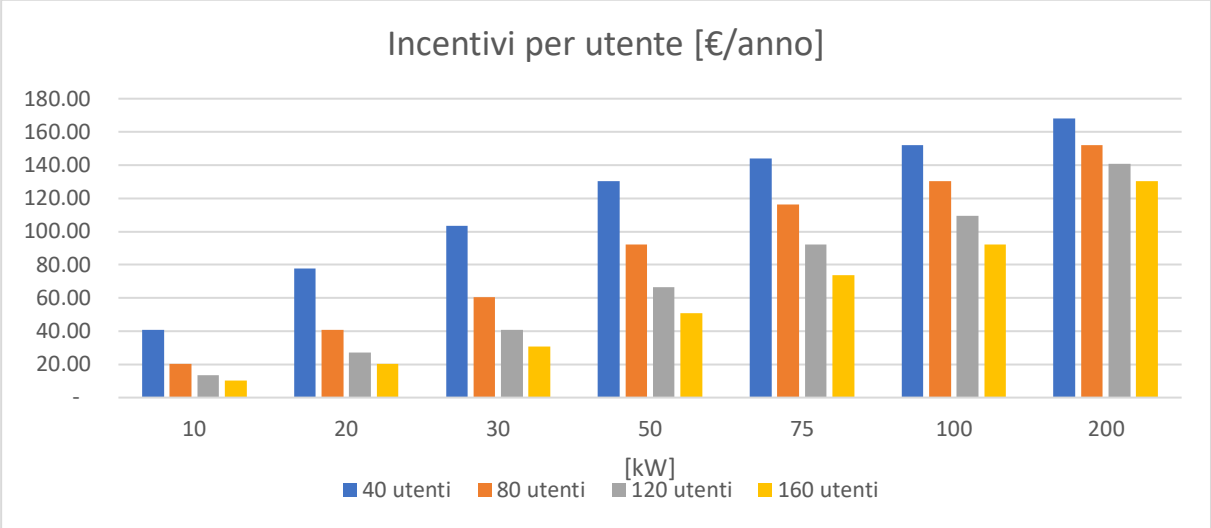


Figura 147 – Caso studio 1: Caso studio 1: Incentivi per utente al variare del numero degli utenti

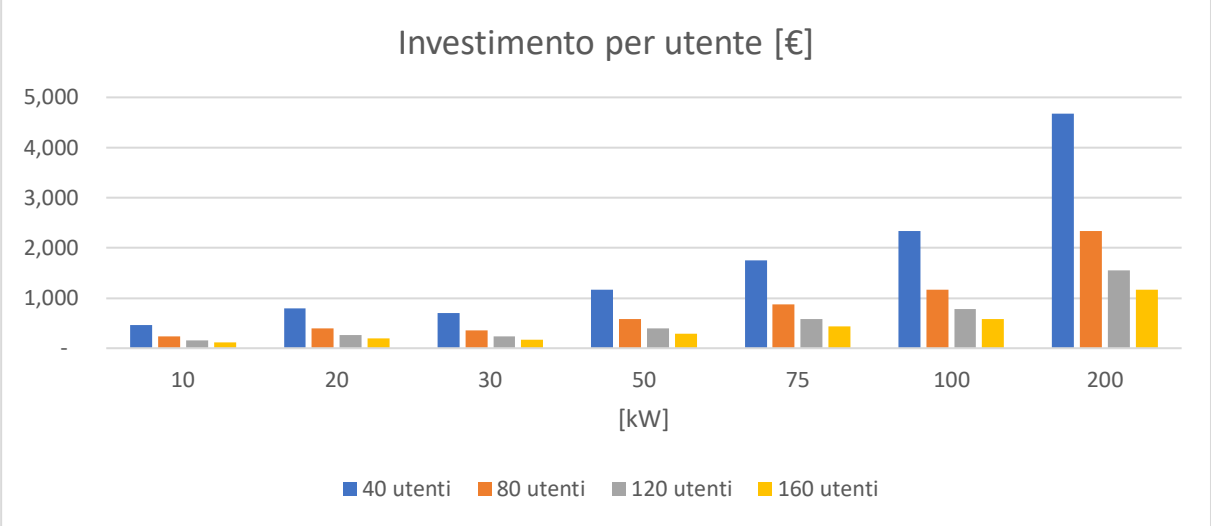


Figura 148 – Caso studio 1: Caso studio 1: Incentivi per utente al variare del numero degli utenti

VAN/I aumenta all'aumentare del numero degli utenti e, quindi, del carico della comunità, facendo sì che la configurazione con 160 utenti, che presenta un carico molto maggiore della produzione, determini il valore massimo. Per le piccole potenze, infatti, tutta l'energia immessa in rete veniva autocondivisa virtualmente già nella configurazione iniziale, per cui aumentare il numero degli utenti non determina dei benefici sotto questo aspetto, ma permette di suddividere l'investimento iniziale in più parti e di ridurre l'investimento pro-capite. Per potenze superiori, aumentare il carico della comunità permette di incrementare la quota di energia autocondivisa virtuale e gli incentivi; il VAN al ventesimo anno diventa paragonabile, se non superiore, a quello della configurazione iniziale, pur essendo realizzato con una quota di investimento molto minore.

Man mano che il carico della comunità aumenta aumentano anche le potenze che permettono di massimizzare VAN/I: per comunità di 40 o 80 utenti, il rapporto era massimizzato con un impianto da 30 kW, per 120 e per 160 utenti con impianti da 30 kW e 50 kW.

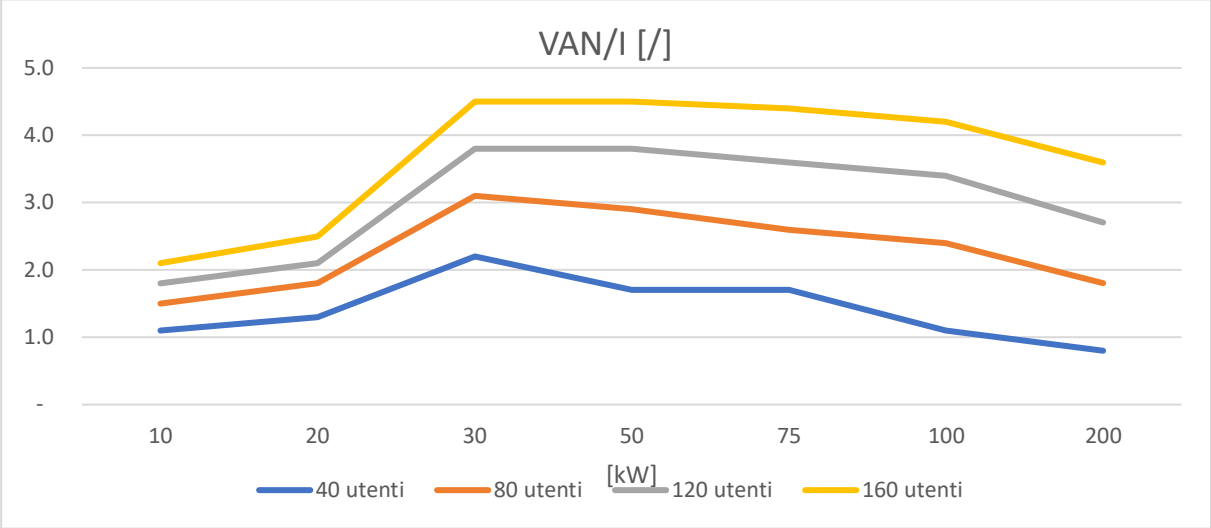


Figura 149 – Caso studio 1: VAN/I al variare del numero degli utenti

La configurazione originale, con il rapporto di energia prodotta su consumata maggiore, ha il tempo di ritorno maggiore, arrivando anche a 9 anni per un impianto da 200 kW. Aumentare il carico della comunità e ridurre il rapporto tra energia prodotta e consumata permette di ridurre il tempo di ritorno dell'investimento, arrivando anche a 2,0 anni nel caso della configurazione con il quadruplo del carico, per impianti che massimizzano l'investimento.

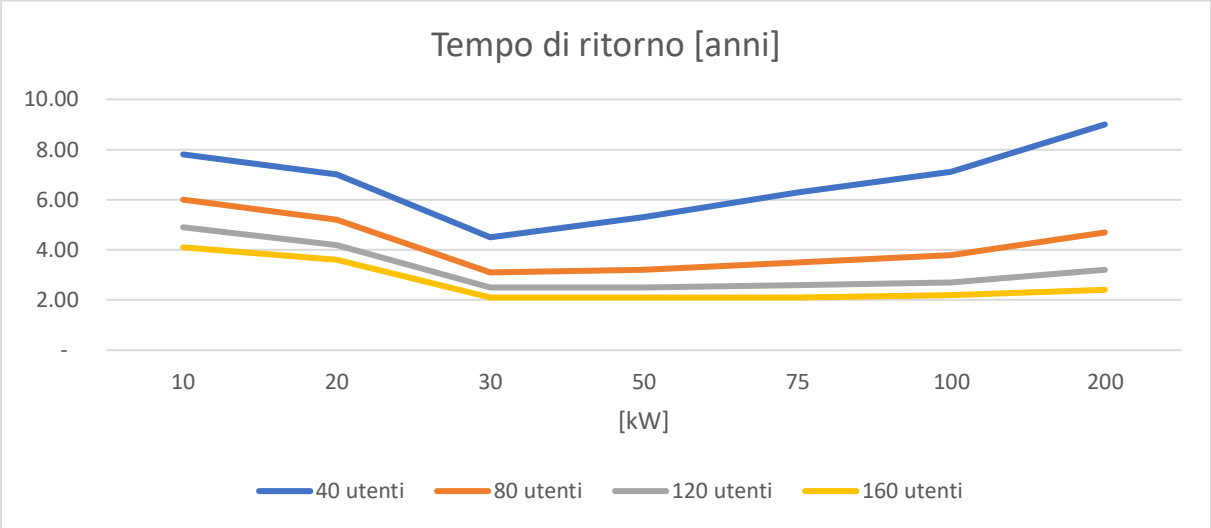


Figura 150 – Caso studio 1: Tempo di ritorno al variare del numero degli utenti

In conclusione, aumentare il carico permette di aumentare la quantità di energia autocondivisa virtuale in totale e aumentare la quantità di energia immessa in rete che riceve un incentivo.

Da un punto di vista ambientale, modificare la grandezza del carico non genera alcuna variazione; la potenza che permette di ottenere la maggiore quantità di emissioni evitate è 200 kW.
Il VAN maggiore si ottiene per un impianto da 200 kW. Avere una configurazione spostata verso i carichi permette di avere un valore dell'energia autocondivisa e della percentuale di energia immessa in rete maggiore e, quindi, di ottenere un VAN più alto, a fronte di un investimento pro capite molto minore; di conseguenza, il valore di VAN/I aumenta e il tempo di ritorno si riduce. Si raccomanda, allora, la configurazione con il quadruplo degli utenti e un consumo molto maggiore della produzione. Nel caso in cui ci sia la possibilità, realizzare un impianto da 200 kW permette di massimizzare il VAN; se non è possibile realizzare un impianto di tale taglia, si raccomanda di scegliere 30 kW o 50kW, potenze che massimizzano il rendimento dell'investimento.

4.2 Caso studio due

Il caso studio due analizza la situazione in cui un albergo a quattro stelle con 56 stanze, che consuma 390.000 kWh/anno, con una spesa annuale per l'energia elettrica di 135.300 €, valuta di installare un impianto fotovoltaico che realizzi autoconsumo reale e di inserirsi in uno schema di scambio sul posto o all'interno di una CER.

Scambio sul posto

Lo scambio sul posto è una forma di autoconsumo reale in loco che permette di inserire in rete l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico e di prelevarla al momento del bisogno. La rete elettrica viene, quindi, utilizzata come immagazzinamento virtuale del surplus di energia. Di giorno, l'impianto fotovoltaico produce energia elettrica; parte di questa viene consumata dall'utenza e parte viene immessa in rete, dopo essere passata dal contatore di scambio. Di sera, l'impianto non produce e tutto il consumo viene prelevato dalla rete. Questa energia viene conteggiata nella bolletta elettrica e viene in parte rimborsata, in base a quanta ne è stata immessa in rete dall'impianto fotovoltaico.

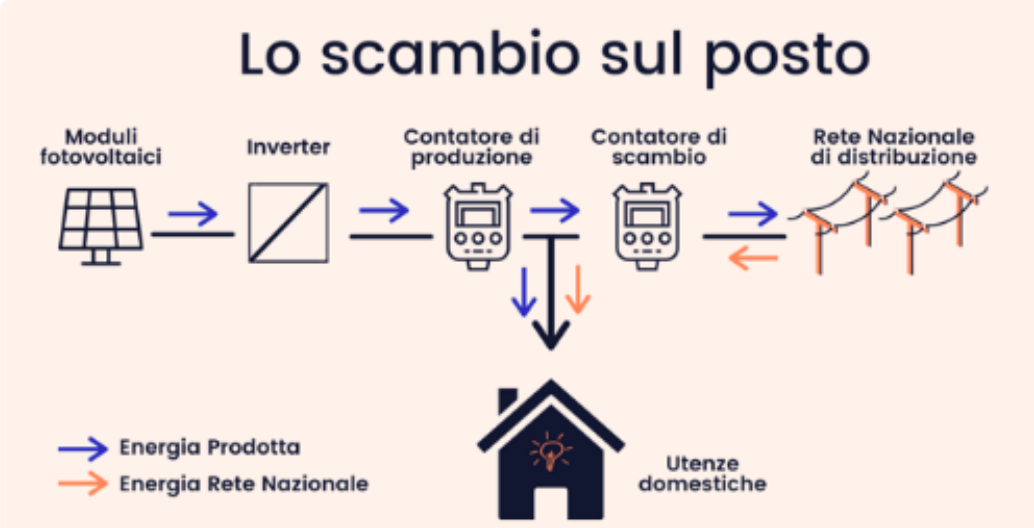


Figura 151 – Caso studio 2: Funzionamento dello schema di scambio sul posto [97]

Il rimborso si compone di due componenti: il contributo per lo scambio sul posto e le eccedenze.
Il contributo per lo scambio sul posto viene calcolato come:

Equazione 12 - Contributo per lo scambio sul posto

$$C_s = \min[O_e; C_{ei}] + CU_{sf} * E_s$$

Dove, O_e rappresenta l'onere energia, cioè il valore economico dell'energia elettrica prelevata dalla rete dall'utente; esso viene calcolato come il prodotto tra i kWh prelevati ogni mese dalla rete e il valore medio del PUN, in ogni mese nel 2019. Si sceglie di riferirsi al 2019 in quanto il 2020 è stato un anno sui generis per la diffusione della pandemia da COVID-19, che ha causato ripercussioni anche sul settore energetico.
C_{ei} è il controvalore dell'energia immessa, cioè il valore economico dell'energia immessa in rete; esso viene calcolato moltiplicando i kWh di energia elettrica immessa in rete ogni mese per il valore medio del prezzo zonale orario mensile del 2019, ottenuto moltiplicando il valore medio delle fasce F1, F2 ed F3 per il numero di ore settimanali in cui sono presenti e dividendolo per il numero di ore totali in una settimana. Il valore che si ottiene è:

Tabella 15 – Caso studio 2: Prezzo zonale orario medio nei mesi del 2019

MESE	PREZZO ZONALE ORARIO MEDIO [€/MWh]
gennaio	65,4
febbraio	53,0
marzo	46,8
aprile	48,6
maggio	49,3
giugno	47,0
luglio	49,0
agosto	46,7
settembre	47,4
ottobre	49,6
norvembre	45,8
dicembre	41,7

CU_{sf} è il corrispettivo unitario di scambio forfettario e tiene conto delle tariffe di trasmissione, distribuzione e di dispacciamento e di alcuni oneri normalmente addebitati in bolletta, come le componenti A, UC, UC3 e UC6. Esso viene calcolato come la somma di una componente relativa alle reti e una relativa agli oneri generali di sistema, nel caso in cui la potenza dell'impianto fotovoltaico sia minore di 20 kW, e come la somma di una componente relativa alle reti e il minimo tra la componente relativa agli oneri generali del sistema e il limite annuale, per potenze maggiori.

Equazione 13 – Corrispettivo unitario di scambio forfettario per potenze minori o uguali a 20 kW

$$CU_{sf} = CU_{sf}^{reti} + CU_{sf}^{ogs} \; per \; P \leq 20 \; kW$$

Equazione 14 Corrispettivo unitario di scambio forfettario per potenze maggiori di 20 kW

$$CU_{sf}^{reti} + \min\left[CU_{sf}^{ogs}; limite \; annuale\right] per \; P > 20 \; kW$$

Per il 2019, CU_{sf} equivale a 75,48 €/MWh.
E_s è l'energia scambiata, cioè il minimo tra l'energia prelevata ed immessa in rete, in tutto l'anno.
Il contributo per lo scambio sul posto non viene tassato per impianti fino ai 20 kW, ma per potenze superiori, esso è rilevante sia ai fini dell'IVA, che delle imposte dirette.

Il secondo termine che forma il rimborso è dato dalle eccedenze, pari al valore economico del surplus di energia immessa in rete rispetto al prelievo. Esse vengono tassate e possono essere calcolate come:

Equazione 15 – Eccedenze dello scambio sul posto

$$Eccedenze = kWh \; immessi \; * Prezzo \; zonale - kWh \; prelevati * PUN$$

L'albergo rientra all'interno dello schema di scambio sul posto come un altro sistema di produzione (ASAP), cioè "un sistema in cui una persona fisica o giuridica produce energia elettrica e, tramite collegamenti privati, la utilizza in misura non inferiore al 70% anno per uso proprio ovvero per uso delle società controllate, della società controllante e della società controllate dalla medesima controllante ". Di conseguenza, la potenza dell'impianto fotovoltaico e il vantaggio economico derivante per l'albergo vengono valutati fino ad un valore minimo di autoconsumo reale pari al 70%.
Nello schema di scambio sul posto è possibile, per le imprese, sfruttare un credito di imposta del 10%, che consente di ripartire il credito in parti uguali per 3 anni.
Per partecipare allo schema di scambio sul posto è necessario pagare una tariffa annuale a copertura dei costi sostenuti dal GSE, come nel caso di una comunità di energia rinnovabile.

Tabella 16 – Caso studio 2: Corrispettivi amministrativi per lo Scambio Sul Posto

Potenza [kW]	Corrispettivo fisso [€/anno]	Corrispettivo variabile [€/kW]
P<=3	0	0
3<P<=20	30,00	0
20<P<=200	30,00	1,00

Nel caso, inoltre, di una pluralità di punti di collegamento con la rete, si aggiunge una quota di 4€/anno per ogni punto.

Comunità di Energia Rinnovabile

Viene valutato l'inserimento dell'albergo all'interno di due Comunità di Energia Rinnovabile differenti: la prima è costituita da 240 utenti residenziali, divisi in 30 condomini, che consumano 1,27 GWh/anno e autocondividono virtualmente tutta l'energia immessa in rete dall'impianto fotovoltaico dell'albergo; la seconda, che ha un consumo di 127 MWh/anno e una produzione di 276 MWh/anno, è composta da 40 utenti residenziali, divisi in 5 condomini, e da un impianto fotovoltaico da 200 kW, posseduto per metà da un'azienda producer e per metà da 20 utenti residenziali.
Anche in questo caso, per partecipare alla CER, gli autoconsumatori hanno un limite minimo di autoconsumo reale pari al 70%.

Ipotesi

Le ipotesi utilizzate per il calcolo degli output sono:

- Si considera di localizzare l'albergo a Torino;
- Gli utenti residenziali realizzano una detrazione fiscale al 50% e hanno un reddito annuo di 50.000 €, corrispondente ad un'aliquota media del 31%;
- Le imprese realizzano l'ammortamento e hanno un credito d'imposta del 10%;
- Il valore dell'aliquota media delle imprese è del 33%;
- La divisione degli incentivi all'interno della CER è fissata a 20% per il consumo e 80% per la produzione;
- All'interno della CER, l'energia viene venduta alla rete tramite il Ritiro Dedicato e viene pagata 49,2 €/MWh, valore medio del 2019;
- Il costo per aderire alla CER è nullo.

Analisi energetica

Il profilo di carico dell'albergo viene paragonato a quello stimato da ENEA nel report "Caratterizzazione energetica del settore alberghiero in Italia". Il profilo predetto da ENEA presenta due picchi, sia nel caso invernale che in quello estivo: il primo intorno alle 12 e il secondo intorno alle 20, intervallati da una profonda valle. Il profilo di Polysun presenta un carico crescente dalle 7 del mattino, che culmina in due picchi, uno all'ora di pranzo e uno all'ora di cena; è assente la valle definita da ENEA. Inoltre, nel giorno invernale, il picco del mattino viene posticipato intorno alle 14/15 e, in quello estivo, quello della sera alle 21/22. In entrambi i casi, il carico invernale risulta maggiore di quello estivo.

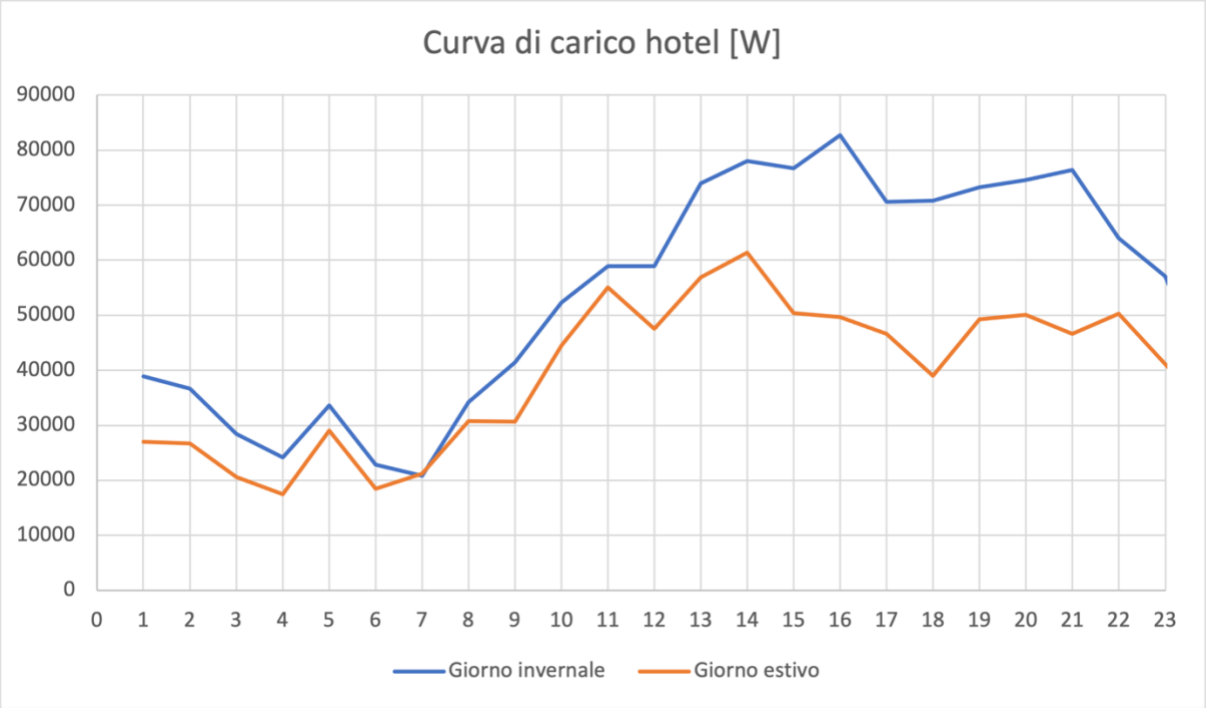


Figura 152 – Caso studio 2: Curva di carico dell'albergo in un giorno invernale ed estivo

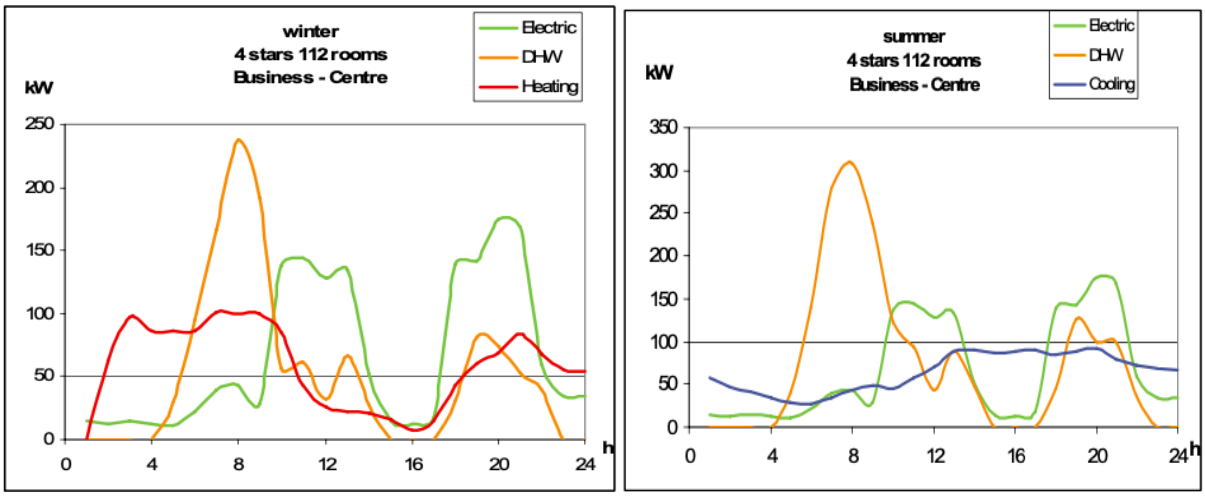


Figura 153 – Caso studio 2: Curva di carico di un albergo da 4 stelle e 112 stanze in un giorno invernale ed estivo, ENEA [51]

Analisi al variare della potenza dell'impianto

Nel caso in cui l'impianto fotovoltaico dell'albergo ha potenza di 10 kW, tutta l'energia prodotta viene autoconsumata realmente dall'albergo; di conseguenza, dei 14,2 MWh/anno prodotti, 0 MWh/anno sono immessi in rete. Il prelievo dell'albergo dalla rete è di 376 MWh/anno; la diminuzione dell'energia prelevata dalla rete rispetto alla situazione iniziale comporta non risparmio economico di 4.720 € all'anno e una mancata emissione di CO_2 di 5,88 tonnellate all'anno.

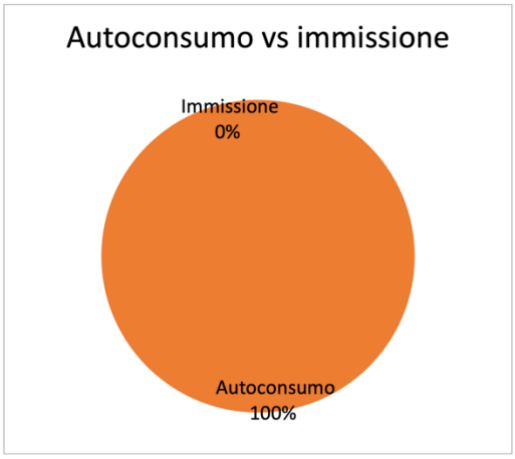


Figura 154 – Caso studio 2: Autoconsumo vs immissione nel caso di un impianto fotovoltaico di 10 kW

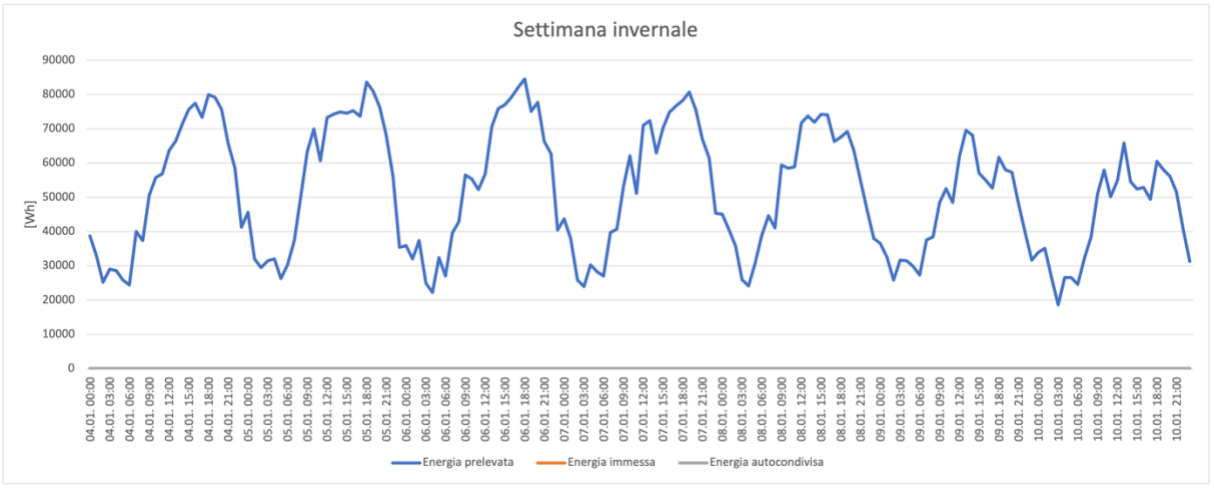


Figura 155 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione dell'albergo con un impianto fotovoltaico da 10 kW in una settimana invernale

Figura 156 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione dell'albergo con un impianto fotovoltaico da 10 kW in una settimana estiva

Da un punto di vista economico, non si ha alcun vantaggio a realizzare lo scambio sul posto, in quanto non vi è alcuna energia immessa in rete; sia il contributo per lo scambio sul posto che le eccedenze sono nulle. Nonostante questo, il valore del VAN al ventesimo anno è di 23.330 €, dovuto alla presenza del risparmio per il mancato acquisto dell'energia elettrica dalla rete. Il tempo di ritorno dell'investimento è di 5,9 anni.
Se l'albergo viene inserito all'interno della prima CER, l'incentivo per la comunità è nullo, essendo la produzione dell'unico impianto presente nulla. I risultati economici sono gli stessi dello scambio sul posto.
Nel caso dell'inserimento nella seconda CER, la presenza dell'impianto da 200 kW permette di avere 21.560 €/anno di incentivi per la comunità. Dell'energia prodotta, il 61% viene immesso in rete e riceve un incentivo, il 34% non è incentivato e il 5% viene autoconsumato realmente. L'albergo, poiché ha un'immissione in rete nulla, non riceve alcuna quota degli incentivi per la produzione; di conseguenza, gli indicatori economici dell'investimento nell'impianto fotovoltaico sono uguali ai casi dello scambio sul posto e della prima CER. Contrariamente agli altri due casi, però, la presenza degli incentivi per il consumo, 3.280 €/anno, che permettono di avere un risparmio annuo in bolletta del 2,5%, rendono la partecipazione alla seconda CER quella economicamente più vantaggiosa.

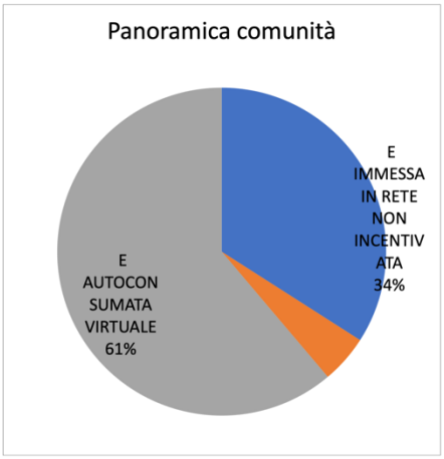


Figura 157 – Caso studio 2: Panoramica CER2 nel caso dell'impianto fotovoltaico dell'albergo di 10 kW

Tabella 17 – Caso studio 2:Vantaggi economici dell'albergo con un impianto da 10 kW

	SCAMBIO SUL POSTO	CER 1	CER 2
Contributo per lo scambio sul posto [€/anno]	0	/	/
Eccedenze [€/anno]	0	/	/
Incentivo per la produzione [€/anno]	/	0	0
Incentivo per la comunità [€/anno]	/	0	21.560

VAN al ventesimo anno [€]	23.330	23.330	23.330
VAN/I [/]	1,1	1,1	1,1
Tempo di ritorno [anni]	5,9	5,9	5,9
Risparmio in bolletta per l'incentivo per il consumo [€]	/	0	3.280 € / 2,5%

Nel caso di un impianto per l'albergo di 50 kW, tutta l'energia prodotta, 70,8 MWh/anno, viene autoconsumata realmente; di conseguenza, l'energia immessa in rete è nulla. Diminuisce il prelievo dalla rete, diventando 319 MWh/anno, con un risparmio per il mancato acquisto dell'energia elettrica di 23.590 €/anno e una mancata emissione di CO_2 di 29,4 ton/anno.

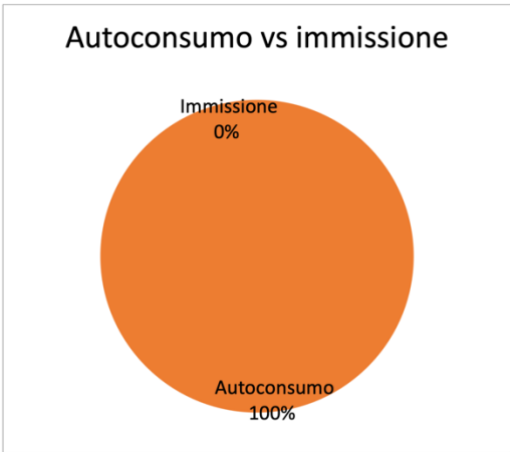


Figura 158 – Caso studio 2: Autoconsumo vs immissione nel caso di un impianto fotovoltaico di 50 kW

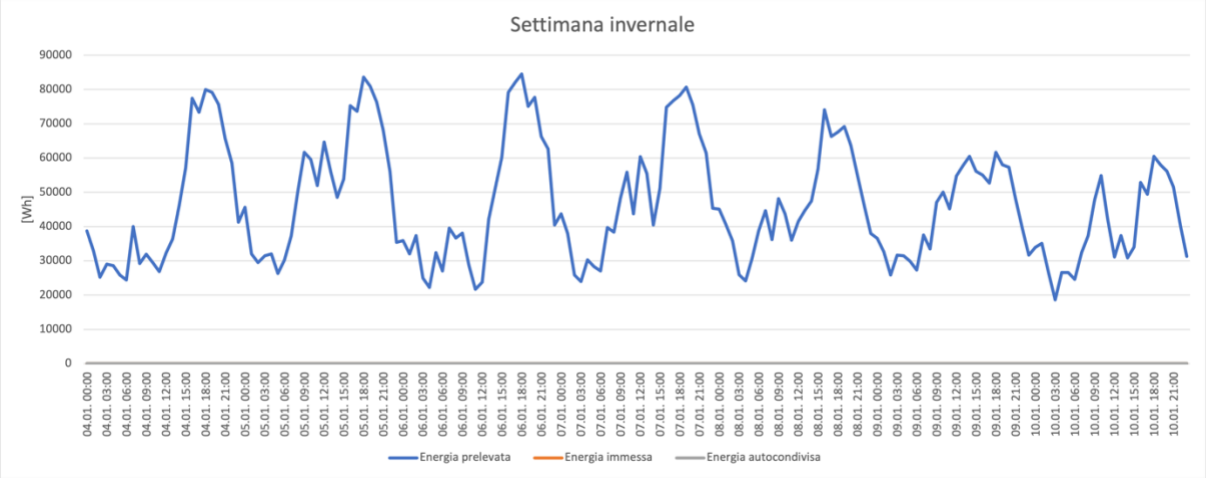


Figura 159 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione dell'albergo con un impianto fotovoltaico da 50 kW in una settimana invernale

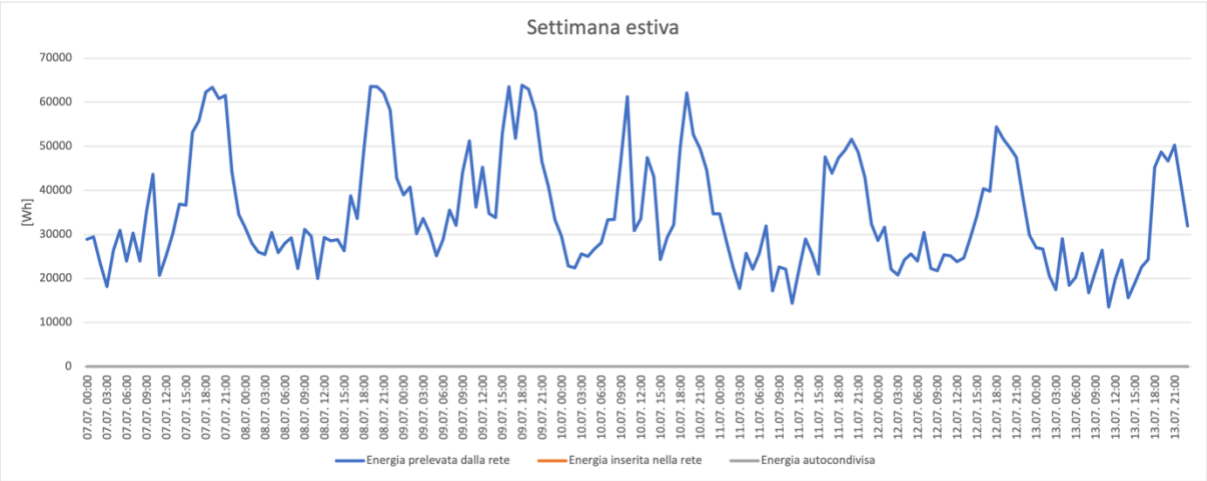


Figura 160 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione dell'albergo con un impianto fotovoltaico da 50 kW in una settimana estiva

Dal punto di vista economico, anche in questo caso, sia il contributo per lo scambio sul posto che le eccedenze sono nulle, essendo nulla l'energia immessa in rete. Il valore del VAN al ventesimo anno diventa 155.540 €, grazie ad un maggiore risparmio per il mancato acquisto dell'energia elettrica. Il tempo di ritorno, quindi, scende a 3,1 anni.
L'inserimento all'interno della prima CER non comporta alcun vantaggio economico.
La partecipazione alla seconda CER permette di ottenere un risparmio in bolletta dell'1,9%, grazie all'incentivo per consumo di 2.110 €/anno. Anche in questo caso, l'incentivo per la produzione dell'albergo è nullo, non essendo immessa in rete alcuna energia. Aumentare la potenza dell'impianto dell'albergo diminuisce l'energia prelevata da esso e i consumi della comunità, riducendo l'energia autoconsumata virtuale in percentuale e gli incentivi totali diminuiscono.

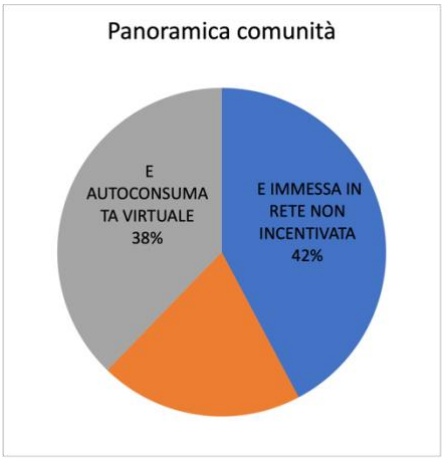


Figura 161 – Caso studio 2: Panoramica CER2 nel caso dell'impianto fotovoltaico dell'albergo di 50 kW

Tabella 18 – Caso studio 2: Vantaggi economici dell'albergo con un impianto da 50 kW

	SCAMBIO SUL POSTO	CER 1	CER 2
Contributo per lo scambio sul posto [€/anno]	0	/	/
Eccedenze [€/anno]	0	/	/
Incentivo per la produzione [€/anno]	/	0	0
Incentivo per la comunità [€/anno]	/	0	15.840
VAN al ventesimo anno [€]	155.540	155.540	155.540
VAN/I [/]	3,0	3,0	3,0
Tempo di ritorno [anni]	3,1	3,1	3,1
Risparmio in bolletta per l'incentivo per il consumo [€]	/	0	2.110 € / 1,9%

Quando l'impianto fotovoltaico dell'albergo ha 100 kW di potenza, dei 142 MWh/anno prodotti il 10% viene immesso in rete, 13,8 MWh/anno. Il prelievo scende a 262 MWh/anno, provocando una mancata emissione di CO_2 di 58,8 ton/anno e un risparmio per il mancato acquisto dell'energia elettrica di 42.600 €/anno.

Figura 162 – Caso studio 2: Autoconsumo vs immissione nel caso di un impianto fotovoltaico di 100 kW

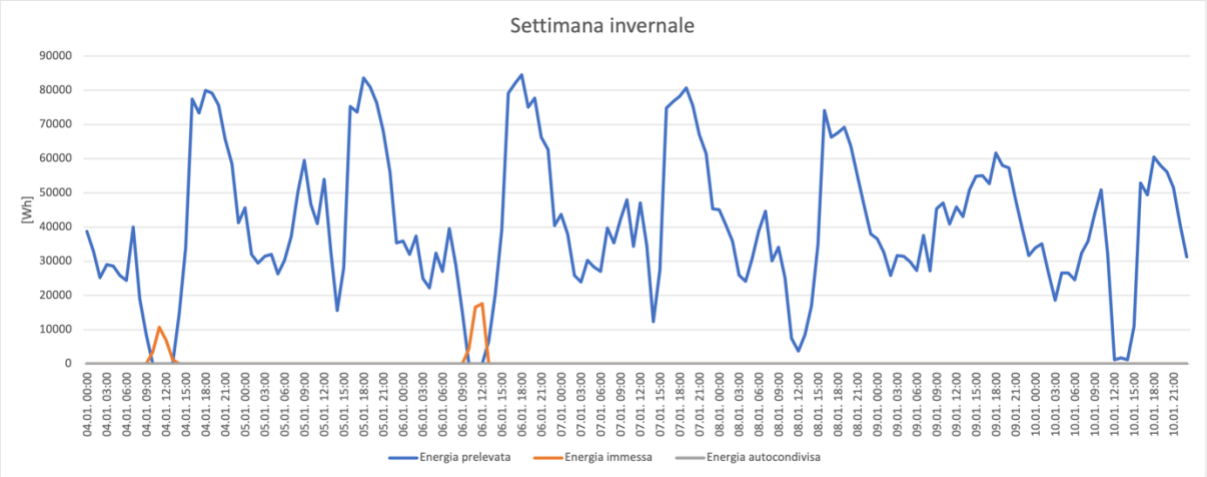


Figura 163 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione dell'albergo con un impianto fotovoltaico da 100 kW in una settimana invernale

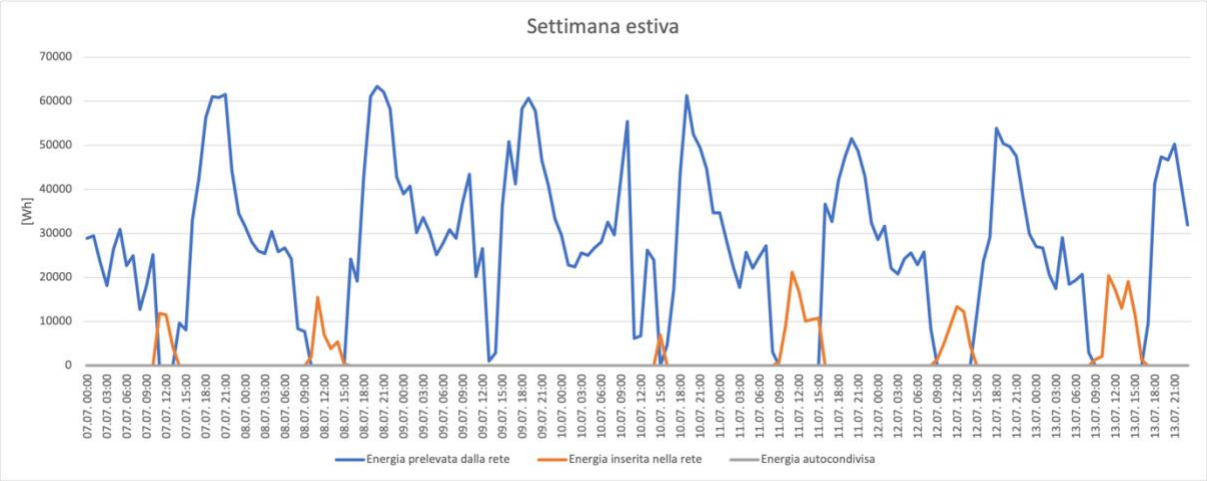


Figura 164 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione dell'albergo con un impianto fotovoltaico da100 kW in una settimana estiva

L'inserimento all'interno di uno schema di scambio sul posto permette di ottenere un contributo per lo scambio sul posto di 1.717 €/anno, mentre le eccedenze sono nulle, poiché il prelievo è sempre maggiore dell'immissione. Il VAN al ventesimo anno diventa 285.910 €, con un tempo di ritorno di 3,3 anni.
La prima CER ottiene un incentivo per la comunità di 1.630 €/anno, di cui l'80%, 1.310 €/anno, spetta all'albergo, possedendo l'unico impianto presente. Il VAN diventa 294.380 € al ventesimo anno, con un tempo di ritorno di 3,2 anni. Non è presente il risparmio in bolletta dovuto all'incentivo del consumo, in quanto l'unica produzione è rappresentata dall'impianto fotovoltaico dell'albergo, che immette in rete al netto dell'autoconsumo; quando c'è produzione e gli incentivi per la comunità non sono nulli, non si verifica il consumo dell'albergo.
Nella seconda CER, gli incentivi totali della comunità diminuiscono ancora, diminuendo la percentuale di energia autoconsumata virtuale e aumentando quella immessa in rete non incentivata. Di questa quantità, l'albergo riceve solamente 140 €/anno per la produzione, a causa del fatto che la sua immissione si svolge al netto del consumo. Il VAN al ventesimo

anno diventa 279.840 €, con un tempo di ritorno di 3,4 anni. Il risparmio annuo in bolletta dovuto agli incentivi per il consumo è dell'1%.

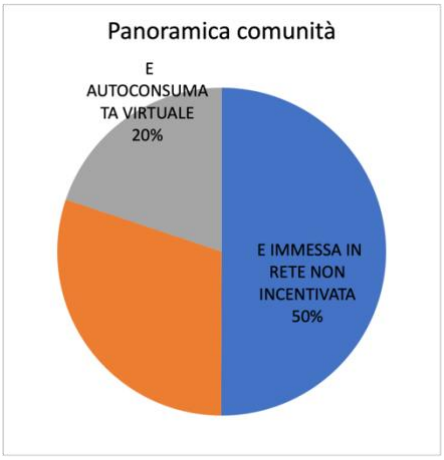


Figura 165 – Caso studio 2: Panoramica CER2 nel caso dell'impianto fotovoltaico dell'albergo di 100 kW

Tabella 19 – Caso studio 2: Vantaggi economici dell'albergo con un impianto da 100 kW

	SCAMBIO SUL POSTO	CER 1	CER 2
Contributo per lo scambio sul posto [€/anno]	1.717	/	/
Eccedenze [€/anno]	0	/	/
Incentivo per la produzione [€/anno]	/	1.310	140
Incentivo per la comunità [€/anno]	/	1.630	10.000
VAN al ventesimo anno [€]	285.910	294.380	279.840
VAN/I [/]	2,8	2,9	2,7
Tempo di ritorno [anni]	3,3	3,2	3,4
Risparmio in bolletta per l'incentivo per il consumo [€]	/	0	914 € / 1%

La potenza dell'impianto fotovoltaico diventa 150 kW, valore per cui l'autoconsumo reale è il 70%, minimo per inserirsi all'interno di uno schema di scambio sul posto o di una Comunità di Energia Rinnovabile. La produzione annua fotovoltaica è di 212 MWh/anno, di cui 63,8 MWh/anno vengono immessi in rete. Il prelievo dalla rete scende a 241 MWh/anno, con un risparmio per il mancato acquisto dell'energia di 49.500 €/anno e una mancata emissione di CO_2 di 88,2 ton/anno.

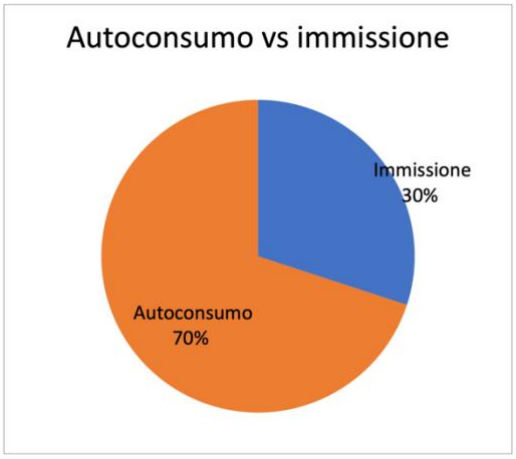


Figura 166 – Caso studio 2: Autoconsumo vs immissione nel caso di un impianto fotovoltaico di 150 kW

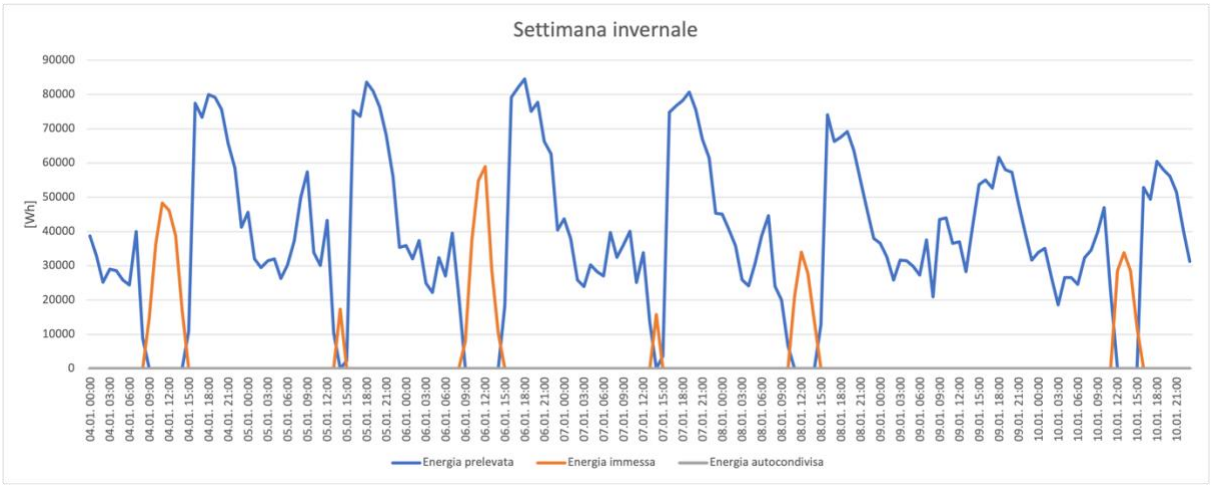


Figura 167 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione dell'albergo con un impianto fotovoltaico da 150 kW in una settimana invernale

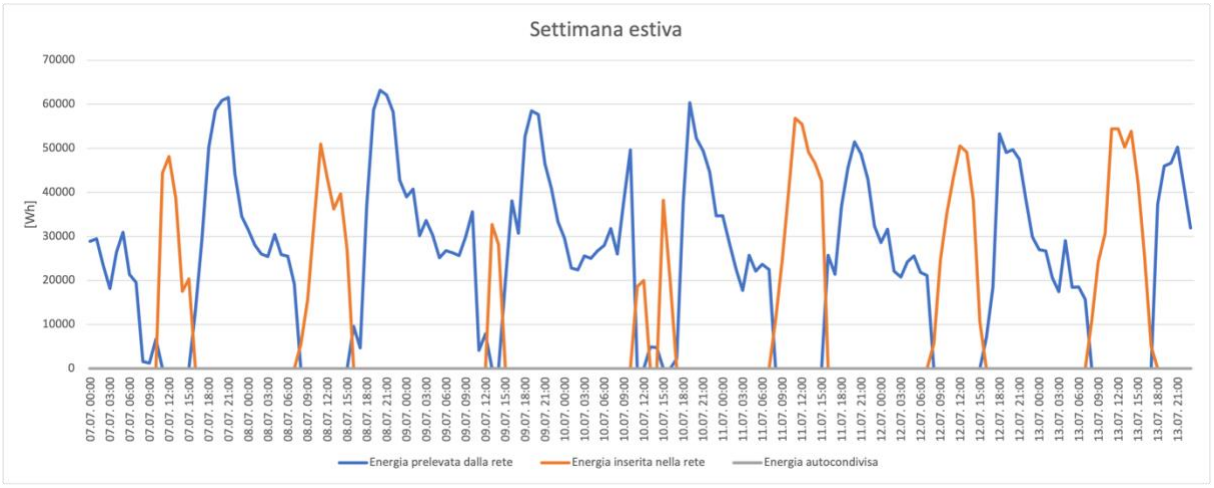


Figura 168 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione dell'albergo con un impianto fotovoltaico da 150 kW in una settimana estiva

Il contributo per lo scambio sul posto diventa di 7.965 €/anno, mentre le eccedenze sono nulle, poiché il prelievo è maggiore dell'immissione in rete. Il VAN al ventesimo anno nella

configurazione di scambio sul posto diventa, allora, 349.510 €, con un tempo di ritorno di 3,8 anni.
L'incentivo della comunità della prima CER diventa 7.470 €/anno, di cui l'80% viene destinato all'impianto fotovoltaico dell'albergo, l'unico presente. Il VAN al ventesimo anno è di 387.740 € e il tempo di ritorno di 3,6anni. È assente la quota degli incentivi del consumo per l'albergo, poiché l'unica immissione in rete della comunità avviene quando il consumo dell'albergo è nullo.
Nella seconda CER, diminuisce ancora l'energia autoconsumata virtuale, che diventa il 14% di quella prodotta, e aumenta l'energia immessa in rete non incentivata, il 56%. L'incentivo della comunità si riduce e diventa 8.250 €/anno, di cui 598 €/anno spettano all'albergo per la produzione. Il VAN che si ottiene è il minimo tra le tre configurazioni ed è pari a 320.690 €, con un tempo di ritorno di 4,1 anni. Gli incentivi per il consumo, pari a 543 €/anno, determinano un risparmio annuale in bolletta dello 0,6%.

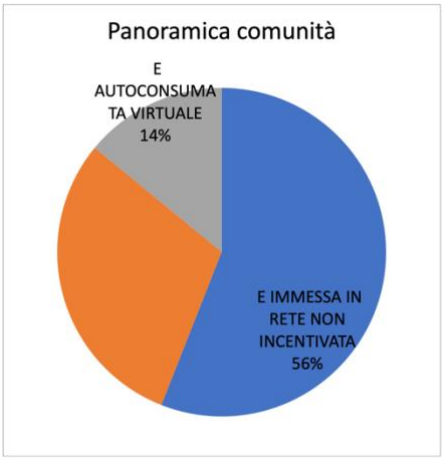


Figura 169 – Caso studio 2: Panoramica CER2 nel caso dell'impianto fotovoltaico dell'albergo di 150 kW

Tabella 20 – Caso studio 2: Vantaggi economici dell'albergo con un impianto da 150 kW

	SCAMBIO SUL POSTO	CER 1	CER 2
Contributo per lo scambio sul posto [€/anno]	7.965	/	/
Eccedenze [€/anno]	0	/	/
Incentivo per la produzione [€/anno]	/	5.980	598
Incentivo per la comunità [€/anno]	/	7.492	8.250
VAN al ventesimo anno [€]	349.510	387.740	320.390
VAN/I [/]	2,9	2,5	2,1
Tempo di ritorno [anni]	3,8	3,6	4,1
Risparmio in bolletta per l'incentivo per il consumo [€]	/	0	543 € / 1%

Conclusioni

Per potenze inferiori a 100 kW, per cui tutta l'energia prodotta viene autoconsumata realmente dall'albergo, essere inseriti in uno schema di scambio sul posto non comporta alcun vantaggio economico. Quando la potenza dell'impianto fotovoltaico dell'albergo è sufficientemente grande da, a fronte dell'autoconsumo reale, immettere energia elettrica in rete, il contributo per lo scambio sul posto diventa economicamente rilevante, così come lo scambio sul posto in sé. Non sono presenti eccedenze, in quanto la quota di energia prelevata dalla rete è sempre maggiore di quella immessa.
La configurazione di scambio sul posto diventa economicamente più vantaggiosa dell'inserimento all'interno di una Comunità di Energia Rinnovabile quando i ricavi sono maggiori; essi sono costituiti da diverse voci: il risparmio per il mancato acquisto dell'energia elettrica dato dalla presenza di autoconsumo reale è lo stesso sia in una configurazione di scambio sul posto che di CER; a questo si aggiungono il contributo per lo scambio sul posto e le eccedenze, nel caso dello scambio sul posto, e la vendita di energia elettrica alla rete tramite Ritiro Dedicato e gli incentivi del GSE, per una CER. Se la somma del contributo per lo scambio sul posto e delle eccedenze è maggiore di quella del ricavo per la vendita di energia elettrica alla rete e degli incentivi del GSE, l'inserimento all'interno di uno schema di scambio sul posto risulta economicamente più vantaggioso di quello in una Comunità di Energia Rinnovabile. Questa condizione si verifica per potenze di 100 kW e 150 kW rispetto alla seconda CER.

La prima CER è costituita da 30 condomini, che rappresentano un carico in grado di autocondividere virtualmente tutta l'energia immessa in rete dall'impianto fotovoltaico dell'albergo. Poiché l'unico impianto della comunità è rappresentato da quello dell'albergo, quando la potenza non è sufficiente da immettere in rete energia, l'energia autocondivisa e gli incentivi sono nulli. Quando la potenza dell'impianto fotovoltaico permette di avere un'immissione in rete, si ottiene un incentivo per la comunità, che cresce con la taglia dell'impianto. Essendo l'unico impianto presente nella comunità, l'albergo riceve tutti gli incentivi per la produzione, equivalenti all'80% di quelli totali; di conseguenza, il vantaggio economico che ne deriva è il maggiore rispetto a tutte le configurazioni prese in esame.

La seconda CER è costituita da 5 condomini, un impianto fotovoltaico da 200 kW, l'albergo e l'impianto da 150 kW. Quando la potenza dell'impianto fotovoltaico dell'albergo è di 10 kW o 50 kW tutta l'energia prodotta viene autoconsumata realmente; l'energia immessa in rete e gli incentivi per la produzione sono nulli. Grazie alla presenza dell'impianto da 200 kW, l'albergo riceve l'incentivo per il consumo, che contribuisce a ridurre la sua spesa elettrica annua. Man mano che la potenza dell'impianto fotovoltaico dell'albergo aumenta, si riduce il carico della comunità, poiché una maggiore quota dei consumi dell'albergo viene generata dall'autoconsumo e, visto che il minimo tra produzione e consumo è rappresentato da quest'ultimo, diminuiscono gli incentivi totali. Nonostante il numero degli utenti sia maggiore, così come gli incentivi per la comunità, la quota della produzione destinata all'albergo è molto inferiore rispetto al caso della prima CER, in quanto è presente un impianto da 200 kW che ne

assorbe la maggior parte. Per questo motivo per potenze elevate l'inserimento all'interno di questa CER comporta i minimi vantaggi economici rispetto alle altre due configurazioni prese in esame.
Quando la potenza dell'impianto fotovoltaico dell'albergo è di 150 kW, la differenza degli incentivi della comunità tra la prima e la seconda CER è minima, nonostante quest'ultima abbia una quota di produzione molto più rilevante. Questa condizione è dettata dal fatto che mentre la prima CER è in grado di autocondividere tutta l'energia prodotta e immessa in rete, la seconda ne autocondivide solamente il 14%, mentre il 56% non riceve incentivo. Per migliorare la condizione economica degli utenti che ne fanno parte si cerca di implementare la configurazione della Comunità di Energia Rinnovabile.

Implementazione CER 2

La Comunità di Energia Rinnovabile presa in esame è composta da 40 utenti residenziali divisi in 5 condomini, un albergo con impianto fotovoltaico, che realizza autoconsumo reale, da 150 kW e un impianto da 200 kW, il cui possesso è suddiviso in un 50% per un'azienda producer e un 50% per 20 utenti residenziali.
Il consumo totale della comunità è di 517 MWh/anno, ma solo 368 MWh/anno sono prelevati dalla rete; il resto viene generato da autoconsumo reale.

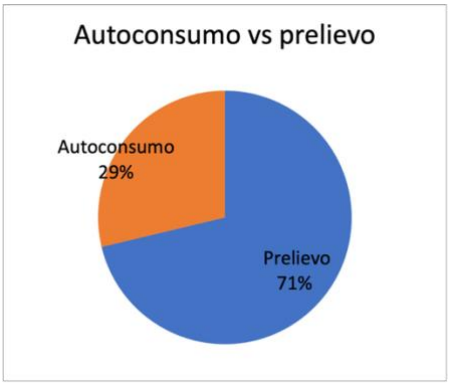


Figura 170 – Caso studio 2: Autoconsumo vs prelievo per la CER2

La produzione totale della comunità è di 495 MWh/anno, di cui 347 MWh/anno sono immessi in rete.

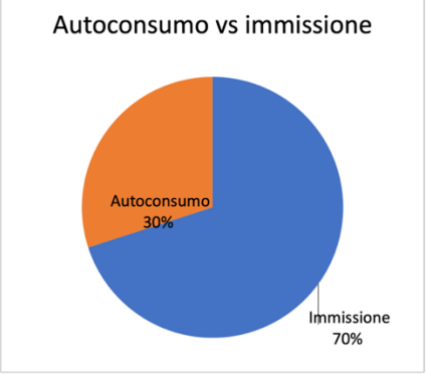


Figura 171- Caso studio 2: Autoconsumo vs immissione per la CER2

Di tutta l'energia prodotta, il 30% viene autoconsumato realmente, il 14% virtualmente e riceve incentivo, mentre il 56% viene immesso in rete, ma non essendo autocondiviso, non riceve incentivo. L'energia autocondivisa virtuale è 67,6 MWh/anno.

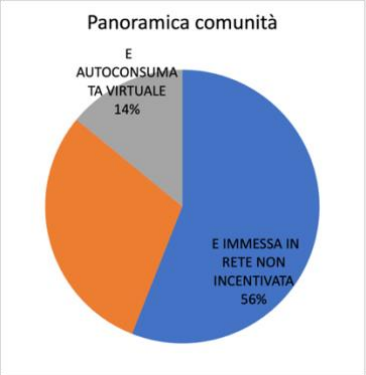


Figura 172 – Caso studio 2: Panoramica comunità CER2

Analizzando la distribuzione dell'energia nelle varie categorie, si può vedere che tutta l'energia autoconsumata realmente viene realizzata dall'albergo, che fa parte della categoria commerciale. L'energia immessa in rete è suddivisa in tutte le categorie; nonostante quella realizzata dal commerciale sia la metà di quella delle altre categorie, gli incentivi che riceve sono solamente il 9% di quelli totali per la produzione, poiché, essendo l'immissione in rete a fronte dell'autoconsumo, quando l'impianto fotovoltaico immette non è presente il consumo dell'albergo, riducendo il prelievo totale della comunità e gli incentivi generati.
Le categorie residenziale e commerciale prelevano energia dalla rete; quest'ultima ha un consumo quasi doppio rispetto alla prima, ma riceve una quota degli incentivi per il consumo minore, a causa del fatto che preleva dalla rete, a fronte dell'autoconsumo reale, quando la produzione fotovoltaica non c'è o non è sufficiente a coprire il proprio fabbisogno; di conseguenza, il consumo da parte dell'albergo si verifica nelle ore in cui la produzione fotovoltaica è bassa, così come la quota degli incentivi.

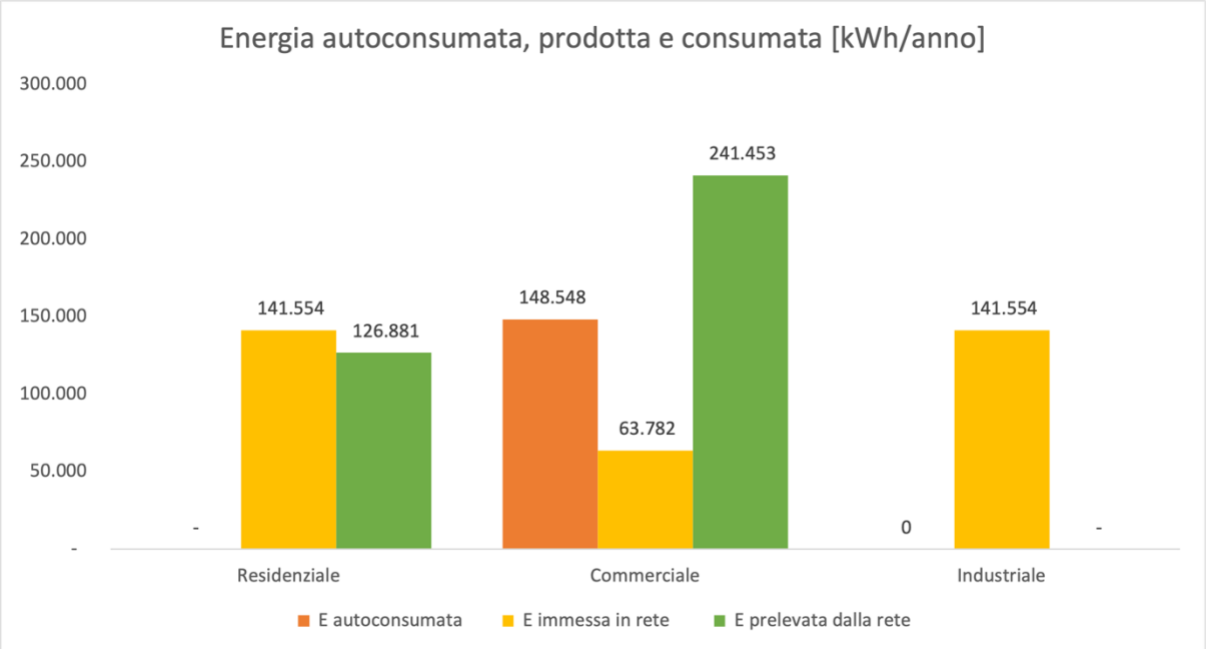


Figura 173 – Caso studio 2: Energia autoconsumata, prodotta e consumata dalle categorie nella CER2

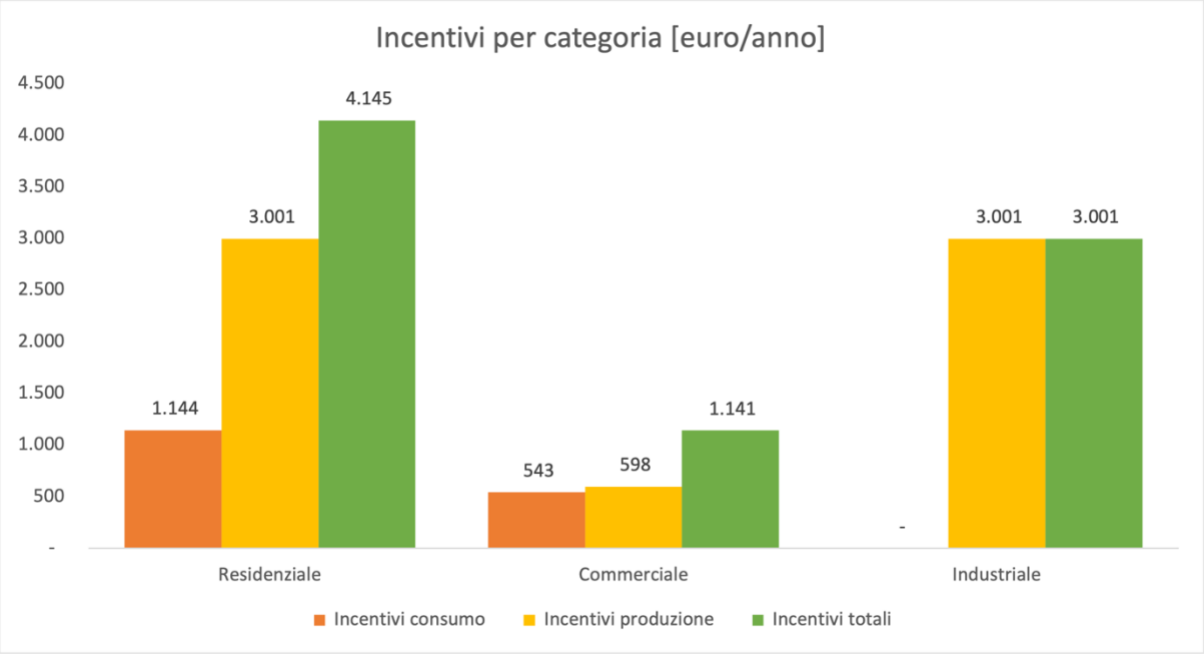


Figura 174 – Caso studio 2: Incentivi per le categorie della CER 2

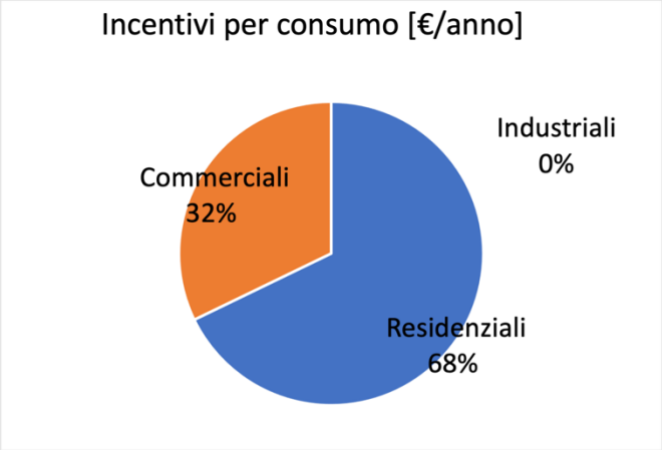


Figura 175 – Caso studio 2: Incentivi per il consumo per le categorie della CER2

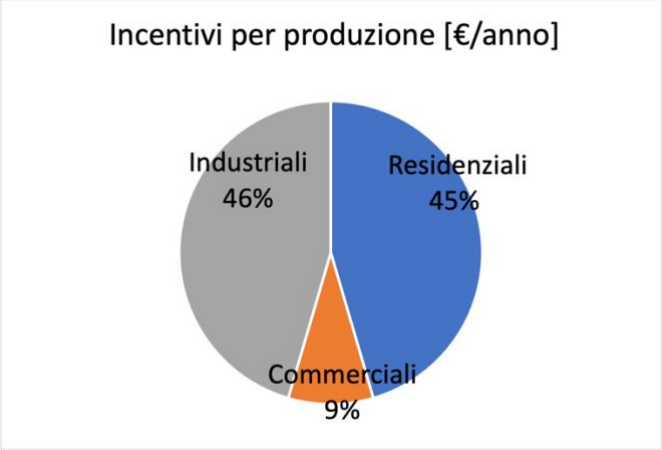


Figura 176 – Caso studio 2: Incentivi per la produzione per le categorie della CER2

L'incentivo totale della comunità è 8.250 €/anno; come si può vedere dalle curve di carico, il limite nel calcolo dell'energia autocondivisa è, nelle ore di produzione fotovoltaica, quasi sempre rappresentato dai consumi.

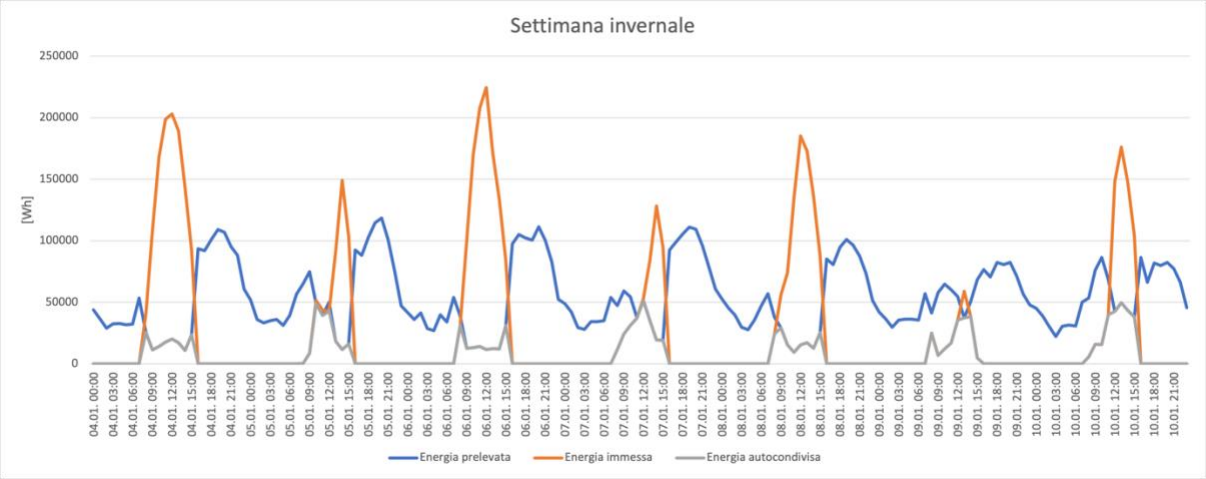


Figura 177 – Caso studio 2: Energia prelevata, immessa e autocondivisa dalla CER2 in una settimana invernale

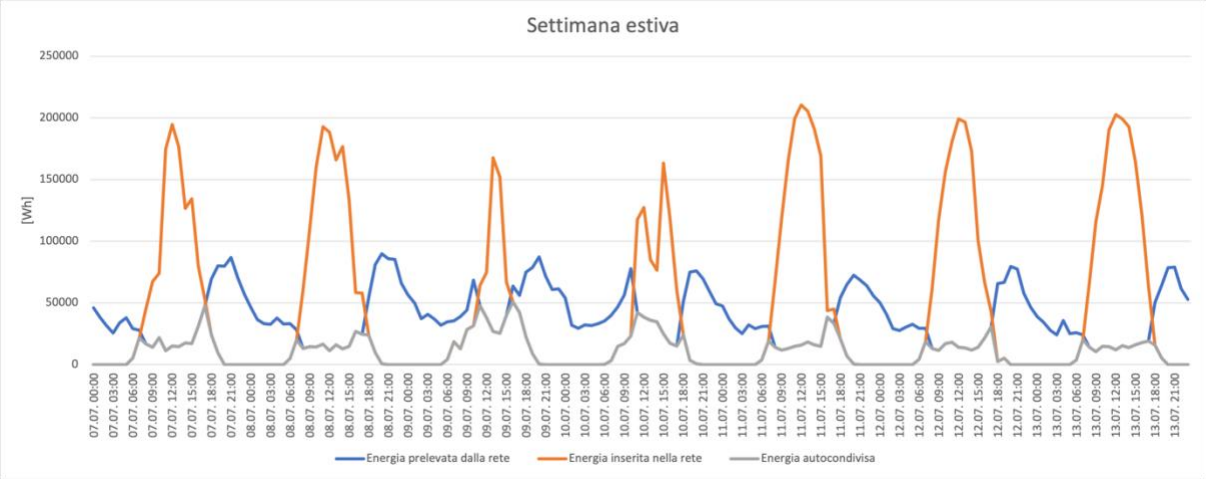


Figura 178 – Caso studio 2: Energia prelevata, immessa e autocondivisa dalla CER2 in una settimana estiva

Per analizzare vantaggi economici dei membri della comunità si identificano sei tipologie di utenti: due residenziali piccoli, composti da una persona, uno prosumer e uno consumer; due residenziali grandi, composti da quattro persone, uno prosumer e uno consumer; l'albergo e l'azienda producer.

La differenza tra gli utenti residenziali piccoli e grandi è data dalla quota di consumo annuo e dalla conseguente spesa per l'energia elettrica, che per gli utenti piccoli si attesta intorno ai 380-430 €/anno, mentre per i grandi tra gli 800-900 €/anno. Per gli utenti consumatori, l'unico vantaggio economico è dato dalla quota degli incentivi per il consumo, che causano un risparmio annuo nella bolletta elettrica intorno al 3%-4%, che potrebbe non essere sufficiente a giustificare l'ingresso all'interno della Comunità di Energia Rinnovabile. Nel caso degli utenti prosumer, oltre all'incentivo per il consumo, si aggiunge il VAN al ventesimo anno per

l'investimento nell'impianto fotovoltaico da 200 kW, di 3.180 €, con un tempo di ritorno di 8,5 anni. Suddividendo il valore del VAN nei vent'anni, si ottiene un risparmio annuo, per gli utenti prosumer, pari al 44%, nel caso di un utente composto da quattro persone, e al 23%, nel caso di un utente con una persona sola.

Tabella 21 – Caso studio 2: Vantaggio economico degli utenti residenziali della CER2

	Consumo annuo [kWh/anno]	Spesa elettricità [€/anno]	Risparmio annuo incentivo consumo [%]	Investimento [€]	VAN 20 anni [€]	Tempo di ritorno [anni]	VAN /I	Risparmio annuo totale [%]
PICCOLO CONSUMER	1305	435	3%	/	/	/	/	3%
PICCOLO PROSUMER	1185	380	2%	5.135	3.180	8,5	0,6	44%
GRANDE CONSUMER	3370	895	4%	/	/	/	/	4%
GRANDE PROSUMER	2918	795	3%	5.135	3.180	8,5	0,6	23%

Per quanto riguarda l'albergo, degli 8.250 €/anno, ne riceve 600 €/anno per la produzione. L'energia prelevata dalla rete in un anno è di 241.450 kWh/anno, che corrispondono a una spesa per l'energia elettrica di 65.760 €/anno. Grazie all'inserimento nella CER, riceve un incentivo per il consumo, che permette un risparmio annuo in bolletta dell'1%; a fronte di un investimento di 154.050 €, il valore del VAN al ventesimo anno è di 320.690 €, con un tempo di ritorno di 4,1anni. Suddividendo il valore del VAN nei vent'anni dell'investimento, si ottiene un risparmio annuo totale in bolletta del 25%.
L'industria partecipa alla CER come producer e, di conseguenza, non possiede alcuna energia prelevata dalla rete e spesa per l'energia elettrica. A fronte di un investimento 102.700 €, il VAN al ventesimo anno è di 7.140 € con un tempo di ritorno di 12 anni.

Tabella 22 – Caso studio 2: Vantaggio annuo degli utenti commerciali ed industriali nella CER2

UTENTE	Consumo annuo [kWh/anno]	Spesa elettricità [€/anno]	Risparmio annuo incentivo consumo [%]	Investimento [€]	VAN 20 anni [€]	Tempo di ritorno [anni]	VAN/I	Risparmio annuo totale [%]
ALBERGO	241.450	65.760	1%	154.050	320.690	4,1	2.1	25%
AZIENDA PRODUCER	0	0	0%	102.700	7.140	12,0	0,1	0%

L'obiettivo dell'implementazione consiste nel modificare la configurazione iniziale della Comunità di Energia Rinnovabile al fine di ottenere un maggiore vantaggio economico per gli utenti che la compongono. Nel fare questo, vengono realizzate quattro prove:

1. Viene dimezzata la potenza dell'impianto fotovoltaico da 200 kW;
2. Viene installato un altro impianto fotovoltaico da 200 kW, il cui possesso è per il 50% dell'azienda e per l'altro 50% di 20 utenti residenziali;
3. Vengono aumentati i consumi, aggiungendo alla comunità il carico dell'industria;
4. Vengono aumentati consumi aggiungendo 15 condomini residenziali composti solo da consumatori.

Prova uno

Il consumo totale della comunità rimane costante a 517 MWh/anno, mentre la potenza dell'impianto da 200 kW viene dimezzata e la produzione totale passa da 495 MWh/anno a 356 MWh/anno, di cui il 58% viene immessa in rete.

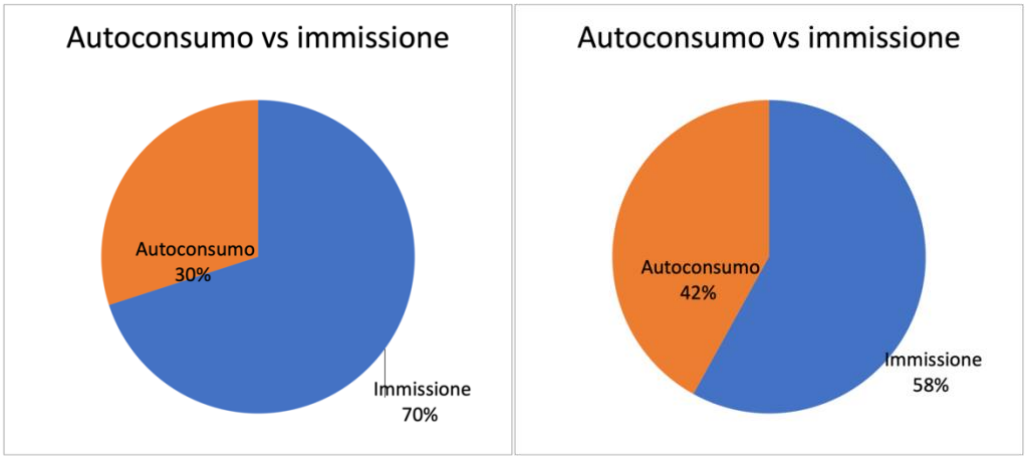


Figura 179 – Caso studio 2: Autoconsumo vs immissione nella CER2 e prova uno

L'energia autocondivisa virtuale dalla comunità passa da 69,6 MWh/anno a 55,8 MWh/anno, riducendo però la quota di energia immessa in rete che non riceve un incentivo.

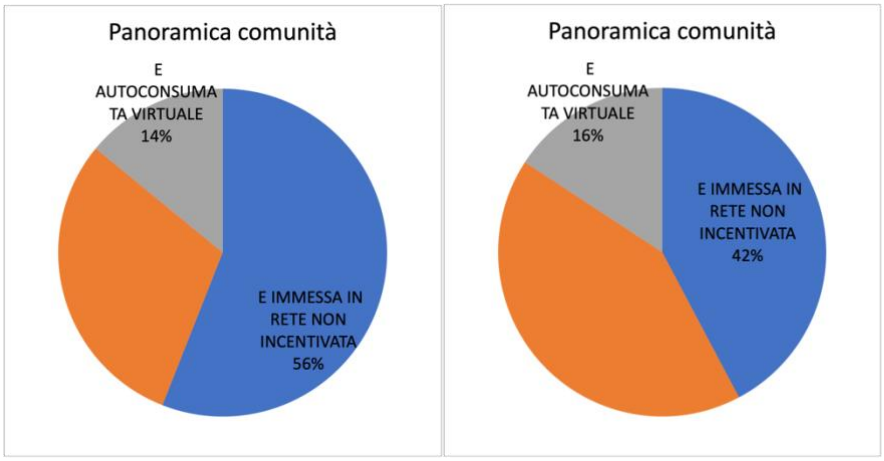


Figura 180 – Caso studio 2: Panoramica comunità nella CER2 e nella prova uno

Gli incentivi totali della comunità passano da 8.250 €/anno a 6.620 €/anno, poiché si riduce l'energia autocondivisa virtuale totale. Per quanto riguarda gli incentivi per il consumo, ne spetta una fetta maggiore alla categoria residenziale poiché, riducendo la potenza dell'impianto da 200 kW, si riduce l'energia su cui vengono calcolati gli incentivi per il

consumo dell'albergo. Negli incentivi per la produzione aumenta la quota commerciale, a causa del fatto che si riduce la potenza dell'altro impianto presente nella comunità.

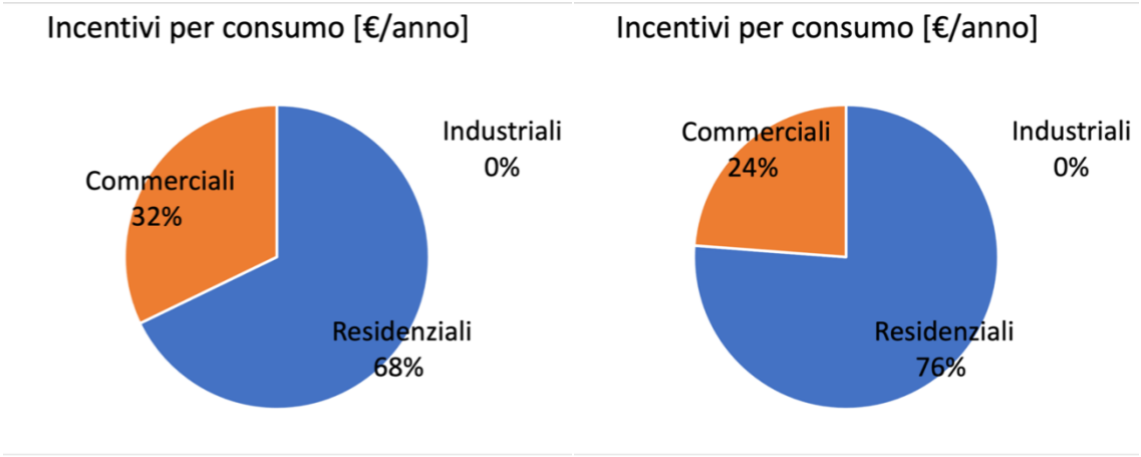


Figura 182- Caso studio 2: Incentivi per il consumo nella CER2 e nella prova uno

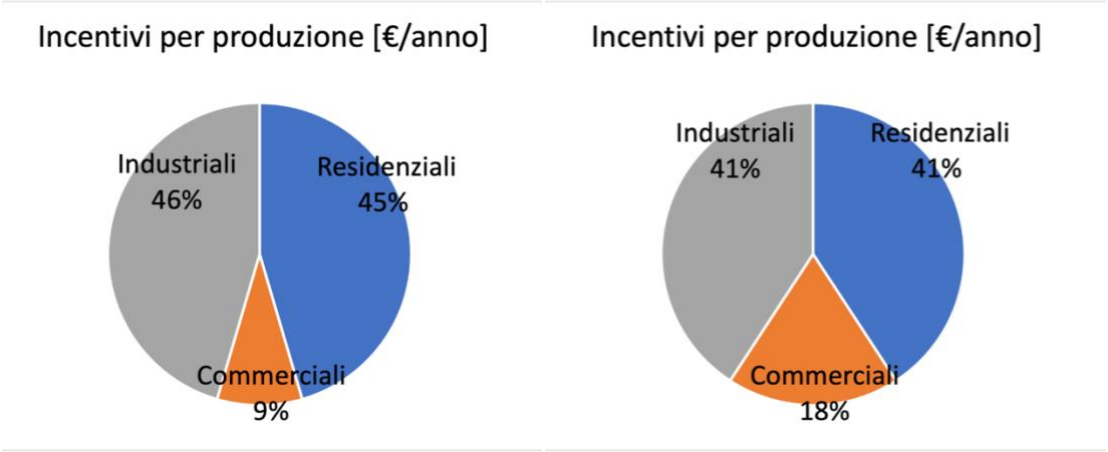


Figura 181 – Caso studio 2: Incentivi per la produzione nella CER2 e nella prova uno

Una visione ancora più chiara della CER può essere visualizzata analizzando l'energia emessa, prelevata ed autoconsumata reale e i conseguenti incentivi per ogni categoria di utente.

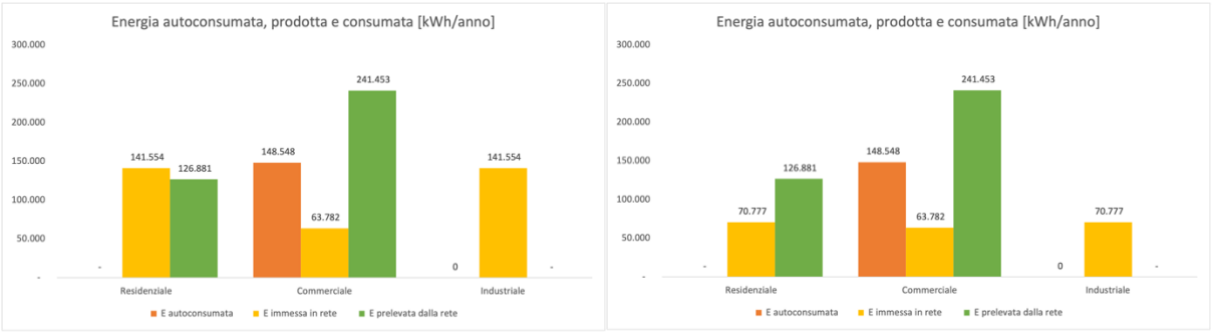


Figura 183 – Caso studio 2: Energia autoconsumata, prodotta e consumata per ogni categoria nella CER2 e nella prova uno

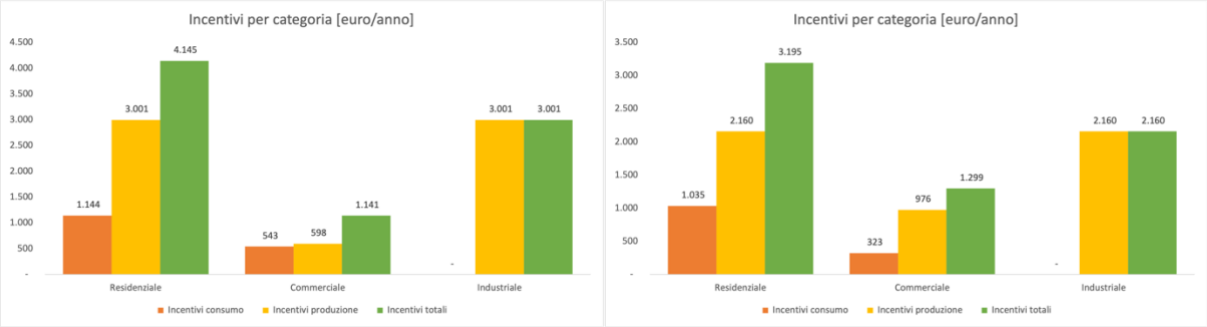


Figura 184 – Caso studio 2: Incentivi per ogni categoria nella CER2 e nella prova uno

Per quanto riguarda gli utenti residenziali, il risparmio annuo in bolletta diminuisce a causa della diminuzione degli incentivi che spettano alla comunità. I prosumer dimezzano l'investimento iniziale, poiché la potenza dell'impianto passa da 200 kW a 100 kW, ma anche il valore del VAN diminuisce, seppur in maniera minore. Per questo motivo, il tempo di ritorno diminuisce passando da 8,5 anni a 7,6 anni e il valore VAN/I aumenta.

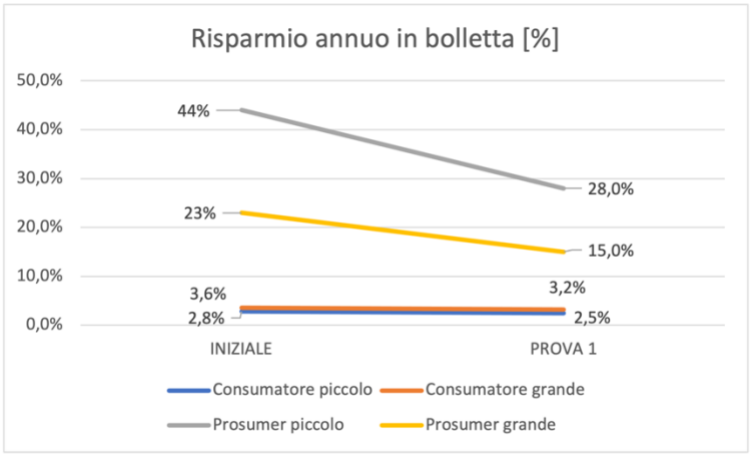


Figura 185 – Caso studio 2: Risparmio annuo in bolletta degli utenti residenziali nella prova uno

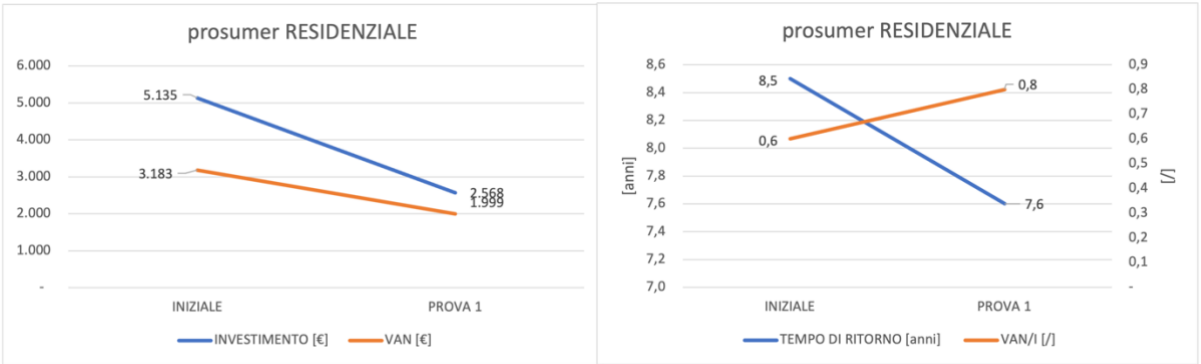


Figura 186 – Caso studio 2: Prosumer residenziale nella prova uno

L'albergo, a fronte dello stesso investimento iniziale, vede un aumento del VAN, grazie all'aumento della percentuale degli incentivi per la produzione che gli spettano, diminuendo il

tempo di ritorno. L'azienda dimezza il proprio investimento iniziale e ottiene un valore del Van maggiore rispetto alla configurazione iniziale.

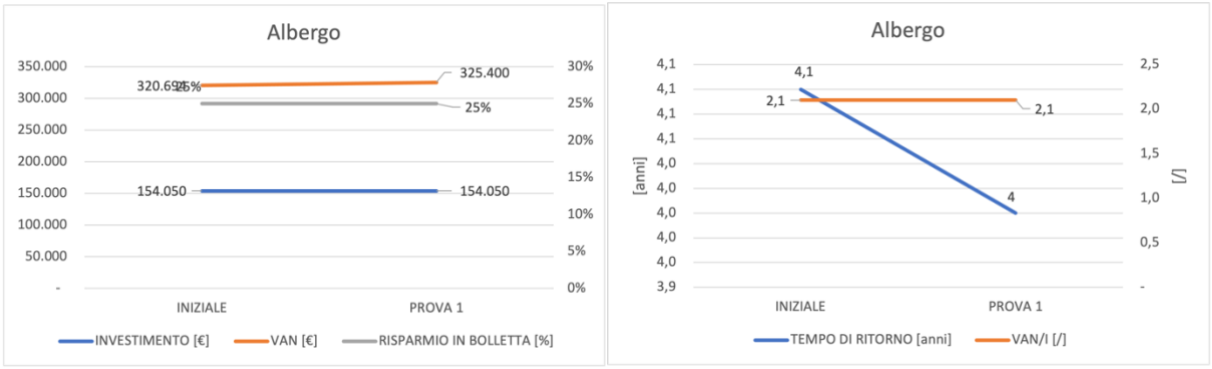


Figura 188 – Caso studio 2: Albergo nella prova uno

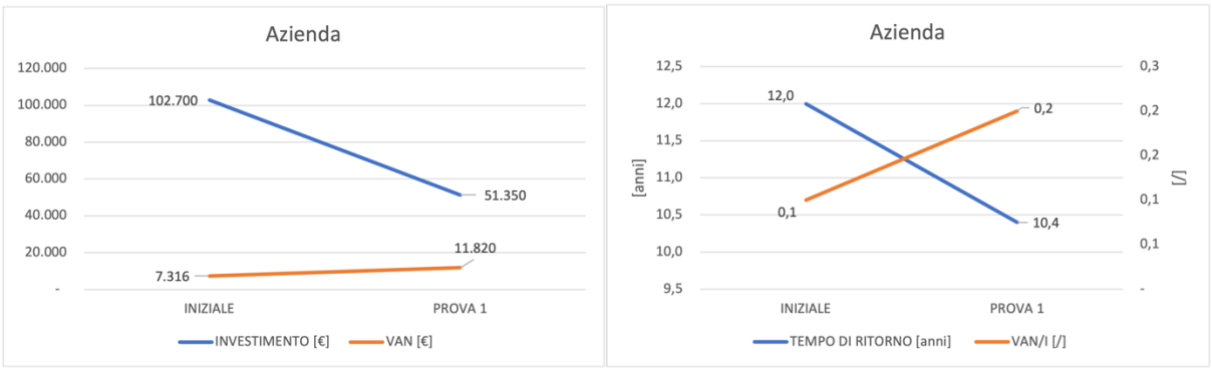


Figura 187 – Caso studio 2: Azienda nella prova uno

Dimezzare la potenza dell'impianto da 200 kW consente di ridurre la percentuale di energia prodotta che viene immessa in rete senza ricevere un incentivo, ma riduce anche la quantità di energia autocondivisa virtuale e, di conseguenza, l'incentivo per la comunità. Dal punto di vista economico, modificare solamente la percentuale di energia prodotta che non riceve incentivo non garantisce un beneficio per la totalità degli utenti.

Prova due

Il consumo totale della comunità rimane costante a 517 MWh/anno, mentre la potenza dell'impianto da 200 kW viene duplicata e la produzione totale passa da 495 MWh/anno a 779 MWh/anno, di cui l'81% viene immessa in rete.

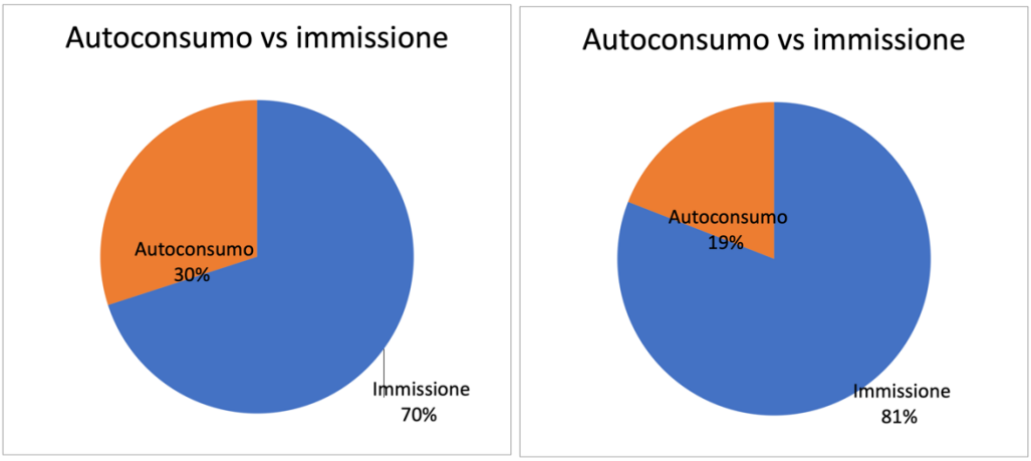


Figura 189 – Caso studio 2: Autoconsumo vs immissione nella CER2 e prova due

L'energia autocondivisa virtuale dalla comunità passa da 69,6 MWh/anno a 86,2MWh/anno, ma aumenta la quota di energia immessa in rete che non riceve un incentivo.

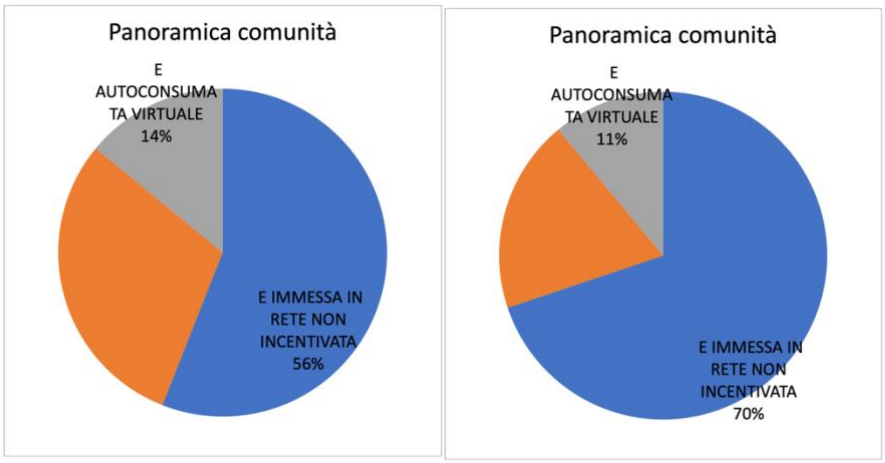


Figura 190 – Caso studio 2: Panoramica comunità nella CER2 e nella prova due

Gli incentivi totali della comunità passano da 8.250 €/anno a 10.220 €/anno. Per quanto riguarda gli incentivi per il consumo, aumenta la quota che spetta al commerciale, in quanto aumenta l'energia immessa in rete nelle ore in cui esso preleva. Negli incentivi per la produzione si riduce la quota commerciale, a causa del fatto che si viene duplicata la potenza dell'altro impianto presente nella comunità.

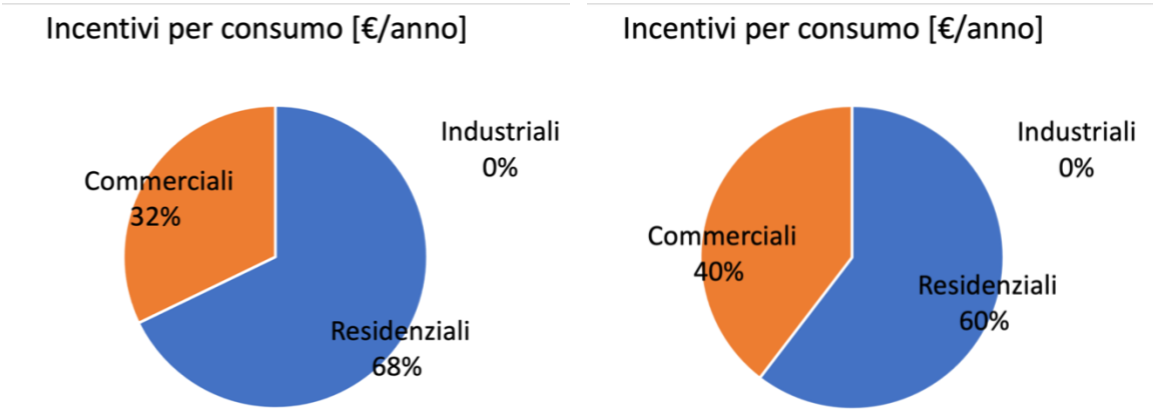


Figura 192 - Caso studio 2: Incentivi per il consumo nella CER2 e nella prova due

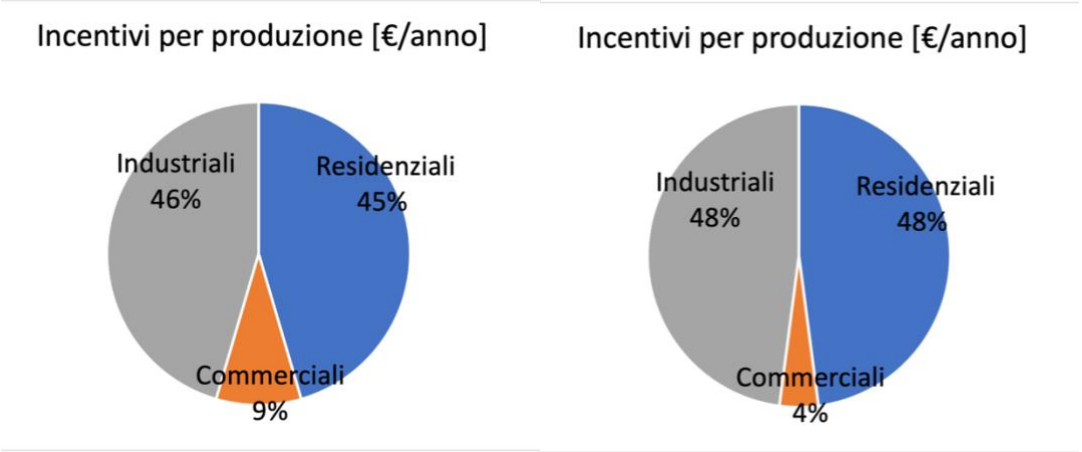


Figura 191 – Caso studio 2: Incentivi per la produzione nella CER2 e nella prova due

Una visione ancora più chiara della CER può essere visualizzata analizzando l'energia emessa, prelevata ed autoconsumata reale e i conseguenti incentivi per ogni categoria di utente.

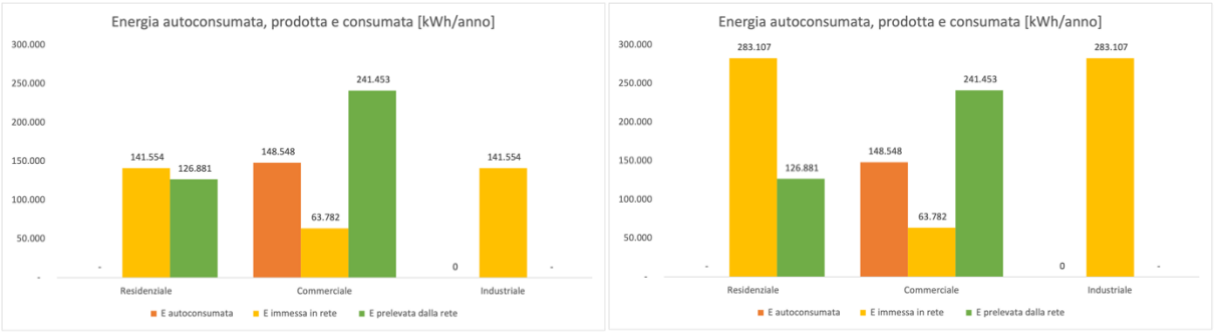


Figura 193 – Caso studio 2: Energia autoconsumata, prodotta e consumata per ogni categoria nella CER2 e nella prova due

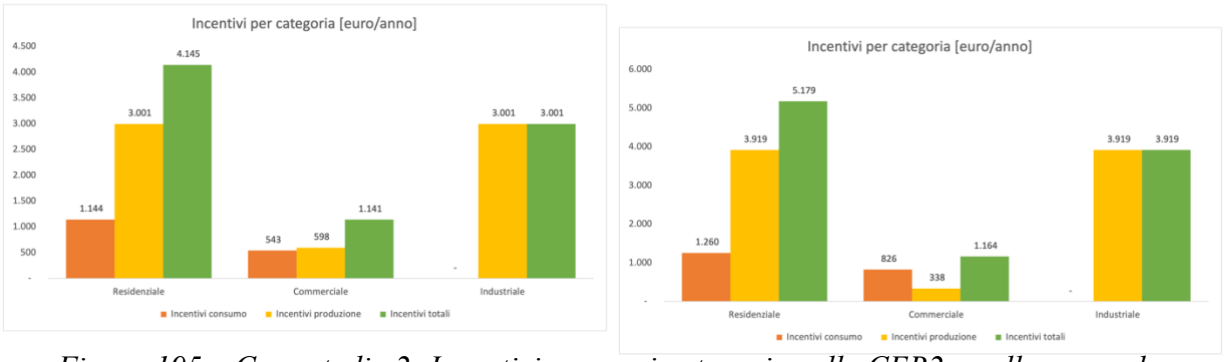


Figura 195 – Caso studio 2: Incentivi per ogni categoria nella CER2 e nella prova due

Per quanto riguarda gli utenti residenziali, il risparmio annuo in bolletta aumenta, poiché aumentano gli incentivi per la comunità. I prosumer duplicano l'investimento iniziale, essendo installato un secondo impianto fotovoltaico da 200 kW, ma anche il valore del VAN aumenta, seppur in maniera minore. Per questo motivo, il tempo di ritorno cresce, passando da 8,5 anni a 9,3 anni, e il valore VAN/I diminuisce.

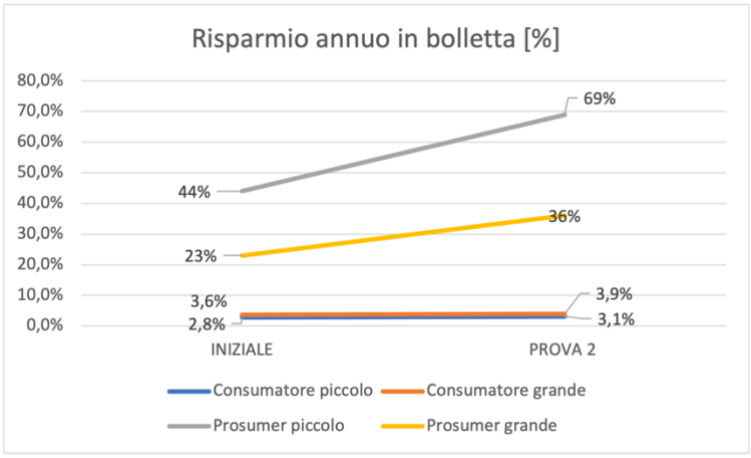


Figura 194– Caso studio 2: Risparmio annuo in bolletta degli utenti residenziali nella prova due

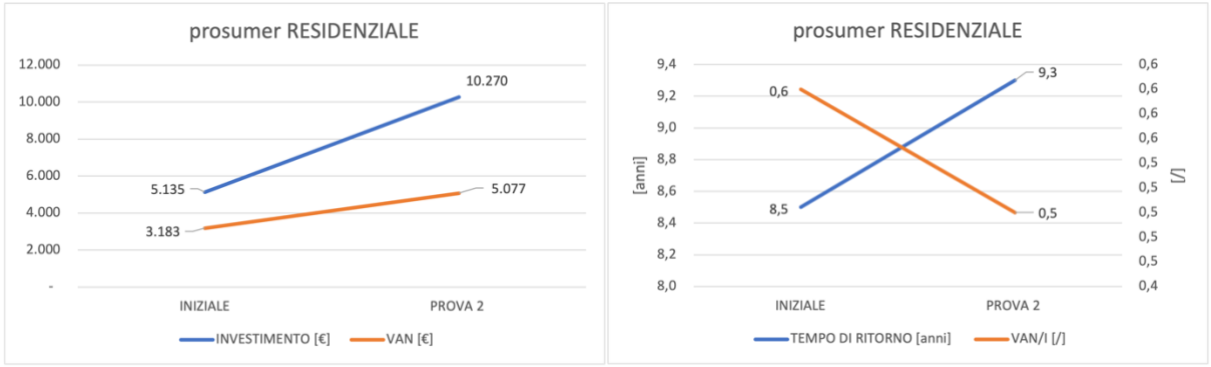


Figura 196 – Caso studio 2: Prosumer residenziale nella prova due

L'albergo, a fronte dello stesso investimento iniziale, vede una diminuzione del VAN, a causa della diminuzione della percentuale degli incentivi per la produzione che gli spettano; la variazione non è tale da modificare il tempo di ritorno o il VAN/I. L'azienda duplica il proprio

investimento iniziale e ottiene un valore del VAN addirittura negativo, rendendo questa configurazione non economicamente vantaggiosa.

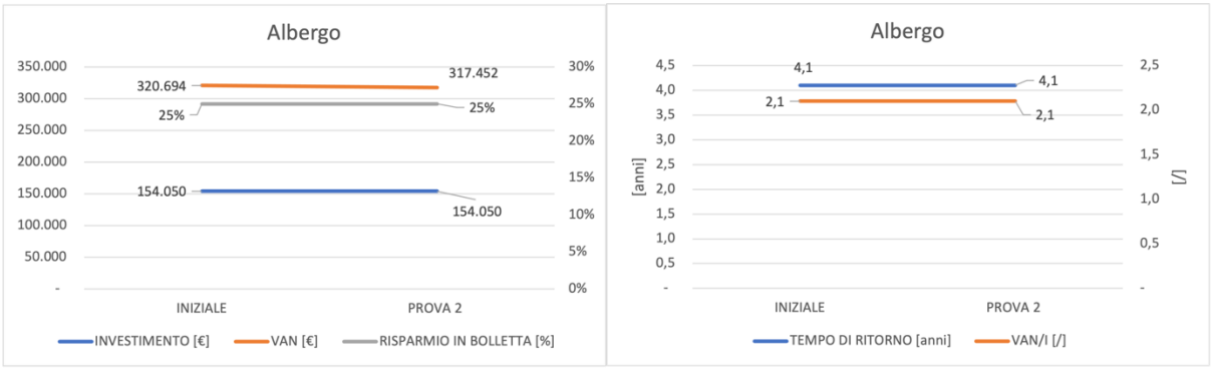


Figura 198 – Caso studio 2: Albergo nella prova due

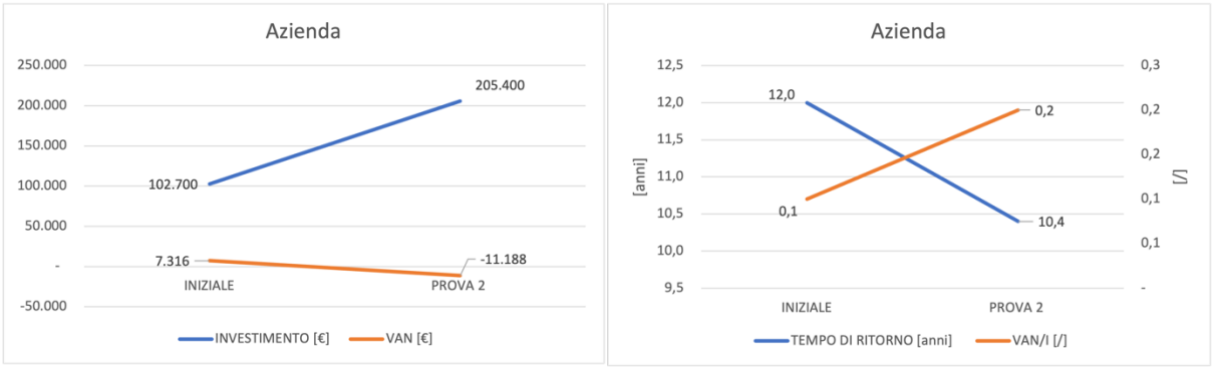


Figura 197 – Caso studio 2: Azienda nella prova due

Duplicare la potenza degli impianti fotovoltaici che non realizzano autoconsumo consente di aumentare l'energia autocondivisa virtuale, ma aumenta la percentuale di energia prodotta che viene immessa in rete senza ricevere un incentivo. Dal punto di vista economico, modificare solamente la percentuale uno dei due indicatori identificati non garantisce un beneficio per la totalità degli utenti.

Prova 3

Nella terza prova viene incrementato il prelievo della comunità aggiungendo il carico dell'industria, che diventa un prosumer. La potenza installata nella CER rimane costante, così come la produzione. Il consumo totale aumenta passando da 517 MWh/anno a 964 MWh/anno, di cui l'85% viene prelevato dalla rete.

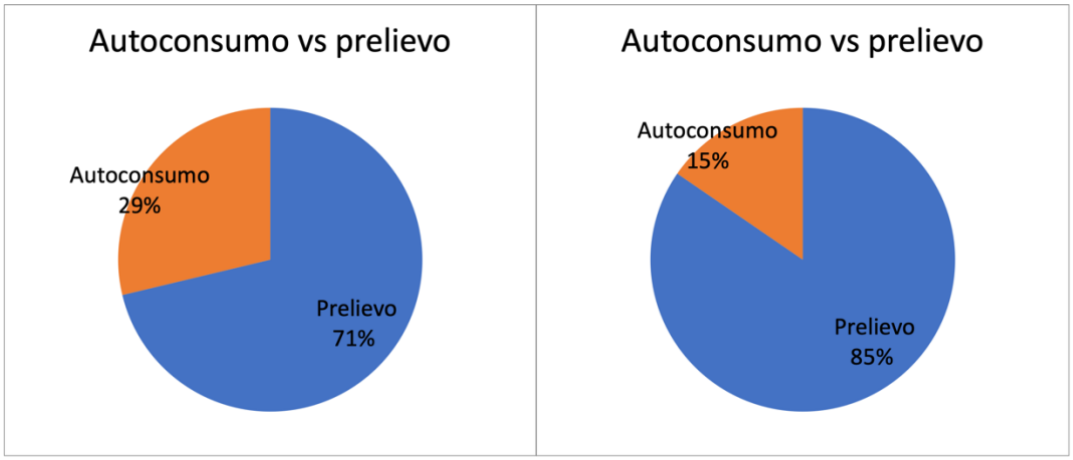


Figura 199 – Caso studio 2: Autoconsumo vs prelievo nella CER2 e prova tre

L'energia auto condivisa virtuale passa da 69,6 MWh/anno a 176,3 MWh/anno e si riduce la quota di energia immessa in rete e non incentivata.

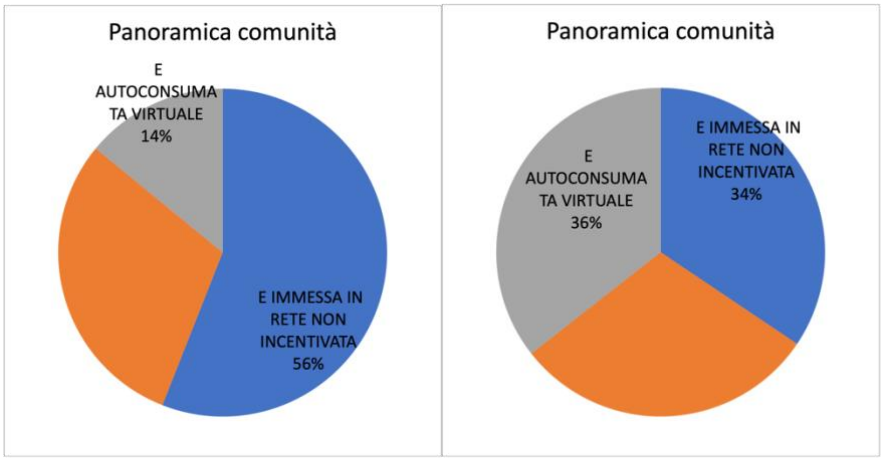


Figura 200 – Caso studio 2: Panoramica comunità nella CER2 e nella prova tre

Gli incentivi totali che spettano alla Comunità di Energia Rinnovabile diventano 20.900 €/anno. Gran parte di quelli destinati al consumo appartengono alla categoria industriale, che presenta un carico molto elevato e circa costante nel tempo, a parte nei giorni di chiusura. Paragonando, infatti, le curve di carico dell'industria con quelle di un utente residenziale, si vede che un carico costante nel tempo riesce ad autocondividere una quantità molto maggiore di energia immessa in rete dal fotovoltaico rispetto ad un carico vario come quello residenziale.

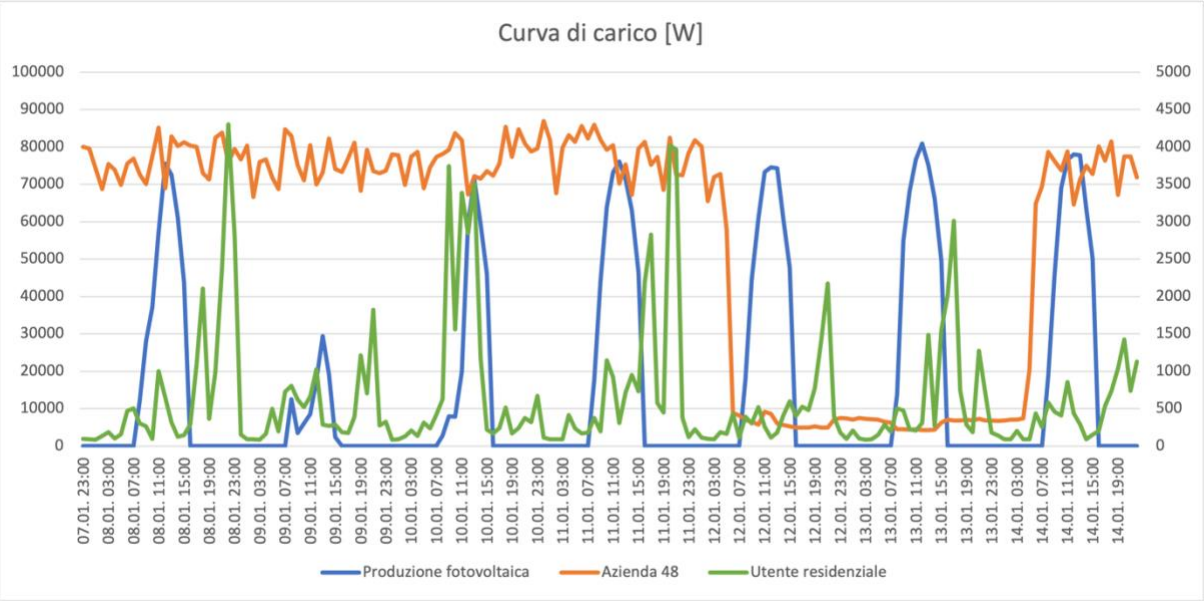


Figura 201 – Caso studio 2: Curva di carico di un'industria e di un utente residenziale

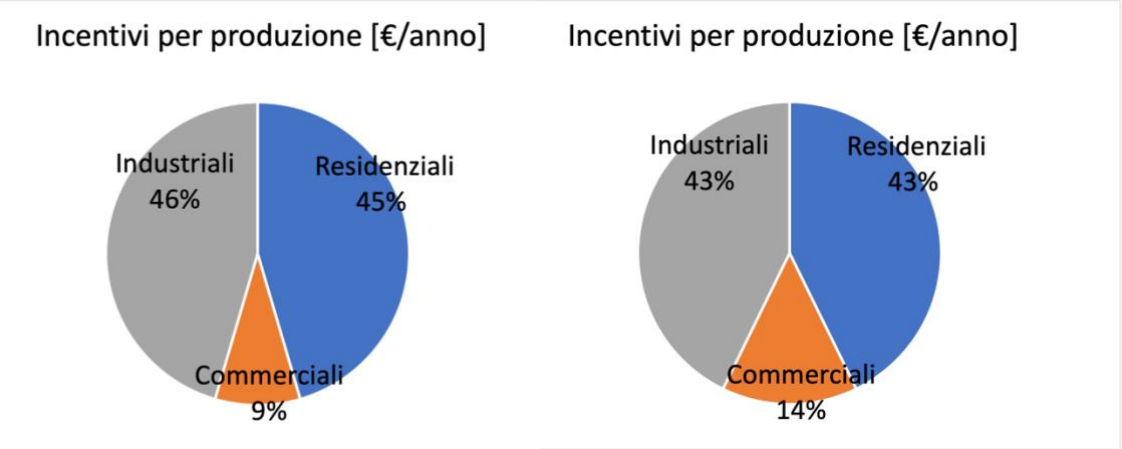


Figura 202 - Caso studio 2: Incentivi per la produzione nella CER2 e nella prova tre

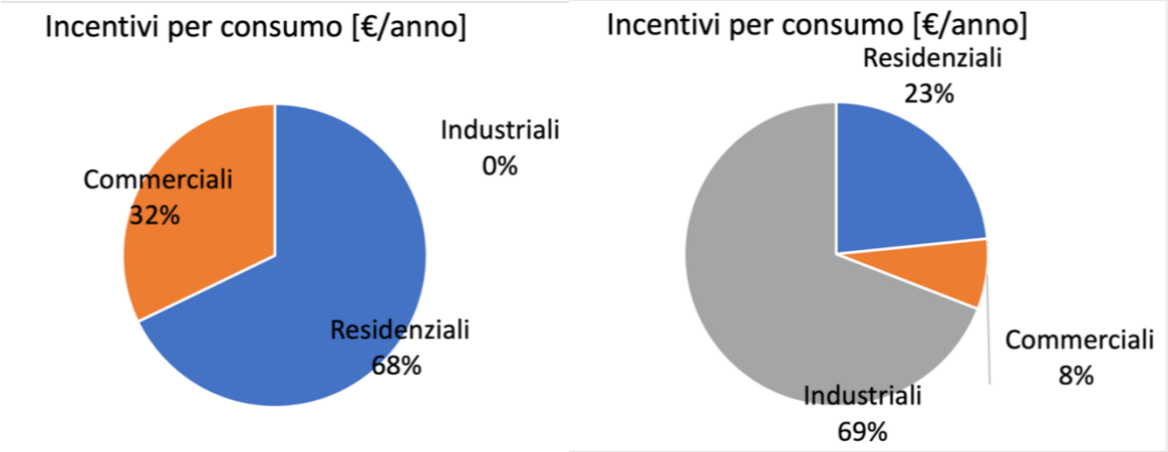


Figura 203 - Caso studio 2: Incentivi per il consumo nella CER2 e nella prova tre

Le stesse considerazioni possono emergere analizzando l'energia autoconsumata, prodotta e consumata e gli incentivi di ogni categoria.

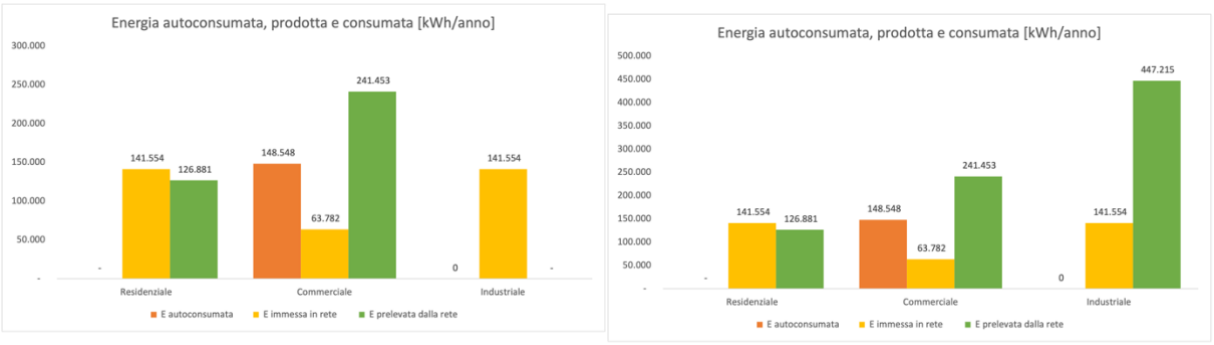


Figura 204 – Caso studio 2: Energia autoconsumata, prodotta e consumata per ogni categoria nella CER2 e nella prova tre

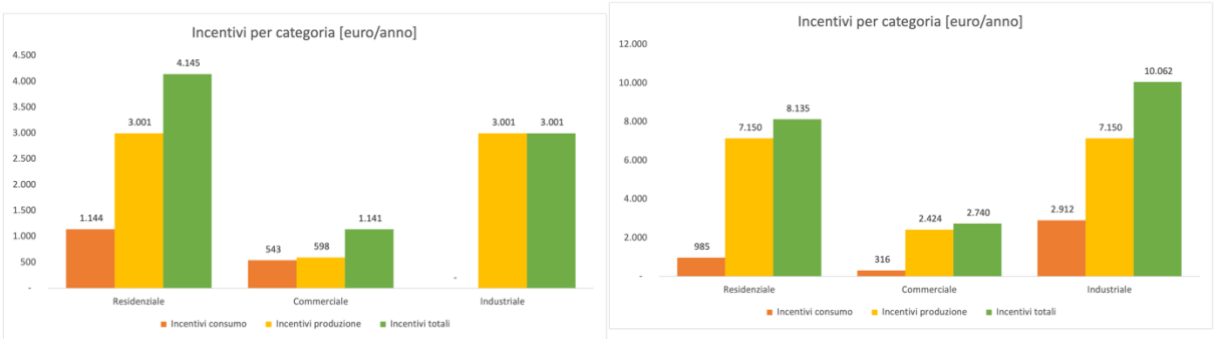


Figura 205 – Caso studio 2: Incentivi per ogni categoria nella CER2 e nella prova tre

Il risparmio in bolletta degli utenti residenziali consumatori diminuisce a causa della presenza del carico industriale, che riceve la maggior parte degli incentivi per il consumo. Il risparmio dei prosumer, invece, aumenta grazie all'incremento degli incentivi per la produzione, arrivando a rappresentare il 78% della spesa annuale della bolletta per un utente piccolo e il 39% per un utente grande. A fronte di un investimento iniziale costante, infatti, il valore del VAN aumenta e il tempo di ritorno diminuisce arrivando a 6,3 anni.

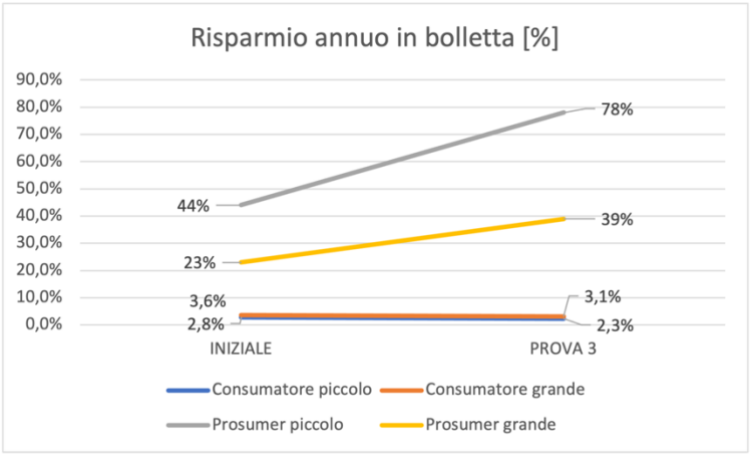


Figura 206 – Caso studio 2: Risparmio annuo in bolletta degli utenti residenziali nella prova tre

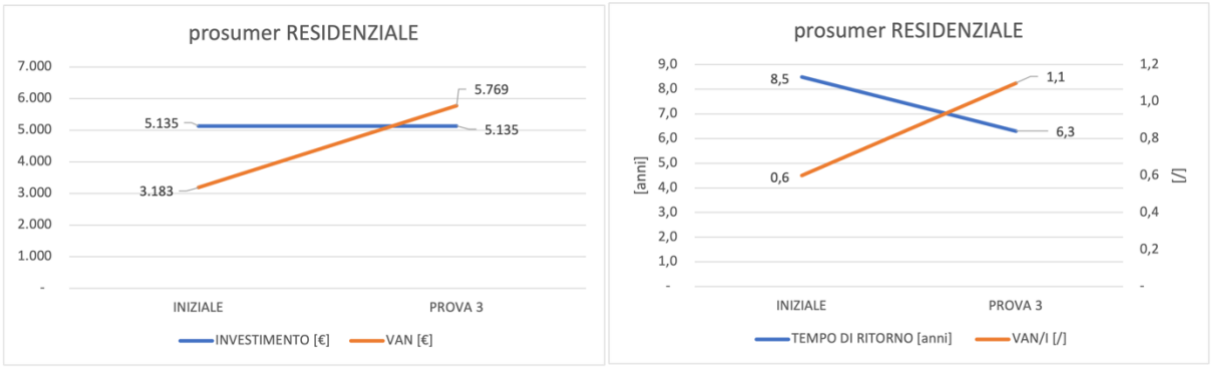


Figura 207 – Caso studio 2: Prosumer residenziale nella prova tre

Per l'albergo, l'investimento iniziale si mantiene costante, mentre il valore del VAN cresce, facendo si che risparmio annuo in bolletta sia del 27%. Il tempo di ritorno diventa 3,9 anni. L'azienda, che ha un investimento costante nel tempo, ottiene un VAN al ventesimo anno molto maggiore rispetto alla configurazione iniziale e un tempo di ritorno di 8,1 anni.

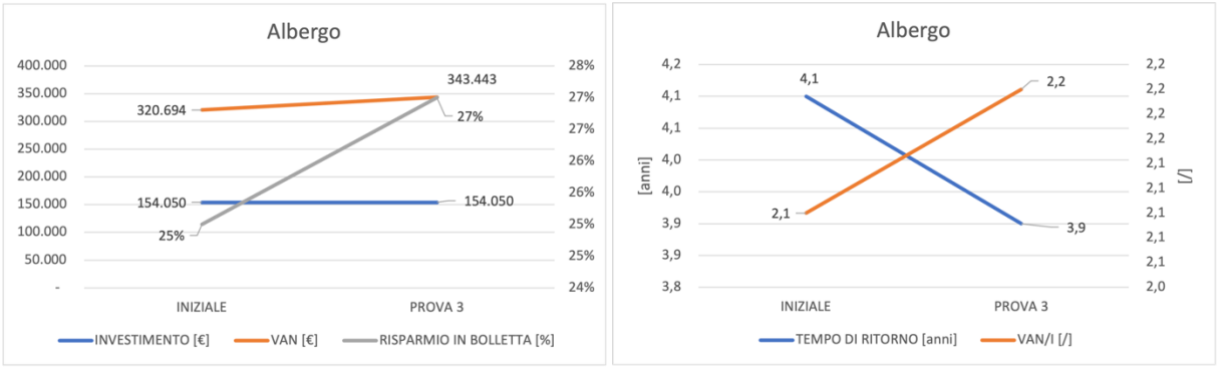


Figura 208 – Caso studio 2: Albergo nella prova tre

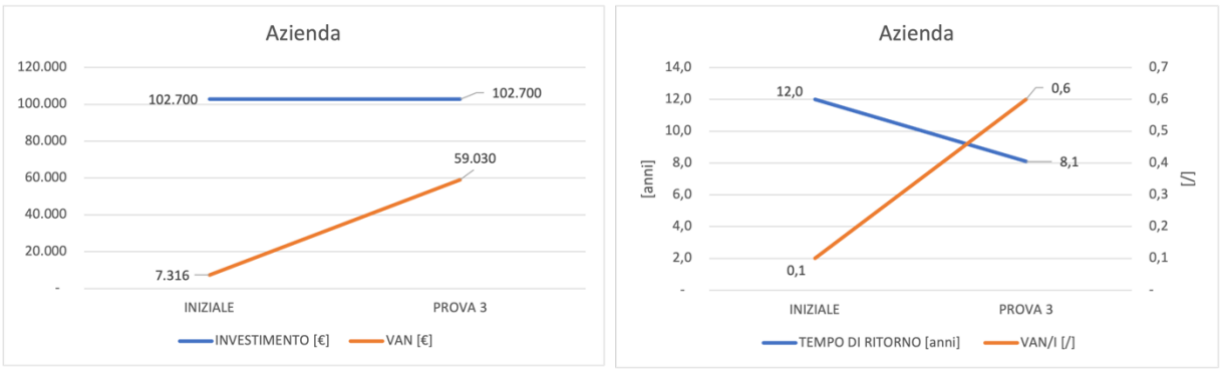


Figura 209 – Caso studio 2: Azienda nella prova due

In conclusione, aumentare la quota di energia autocondivisa virtuale dalla comunità e ridurre la percentuale di energia immessa che non riceve un incentivo aumenta il vantaggio economico degli utenti. Nel modificare questi due indicatori, bisogna prestare particolare attenzione alle relazioni preesistenti tra carichi e produzioni: aggiungere un carico di dimensione molto più grande degli altri permette, da un lato di aumentare l'incentivo per la comunità, ma dall'altro riduce la quota degli incentivi che spettano agli utenti più piccoli. Per

questo motivo, nonostante questa configurazione sia vantaggiosa per la maggior parte degli utenti, la presenza del carico industriale di dimensioni molto maggiori di quelli residenziali riduce la percentuale di incentivi per il consumo che aspettano a questi ultimi e, di conseguenza, il loro vantaggio economico.

Prova quattro

Nell'ultima prova viene aumentato il carico della comunità introducendo 15 condomini residenziali; la CER risulta costituita da 20 condomini, un albergo con un impianto, che realizza autoconsumo reale, da 150 kW e un impianto da 200 kW, posseduto per metà dall'azienda producer e per metà da 20 utenti residenziali.

La potenza fotovoltaica installata nella CER, così come la produzione, rimangono costanti. Il consumo totale aumenta, passando da 517 MWh/anno a 897 MWh/anno, di cui l' 83% viene prelevato dalla rete.

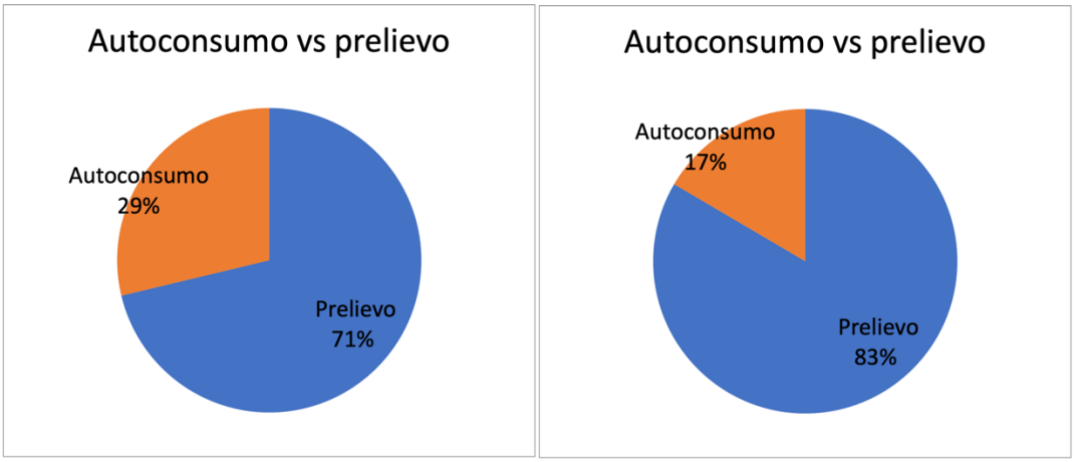


Figura 210 – Caso studio 2: Autoconsumo vs prelievo nella CER2 e prova quattro

L'energia auto condivisa virtuale dalla comunità passa dal 69,6 MWh/anno a 177,2 MWh/anno, riducendo la quota di energia immessa in rete che non riceve un incentivo al 34% di quella prodotta.

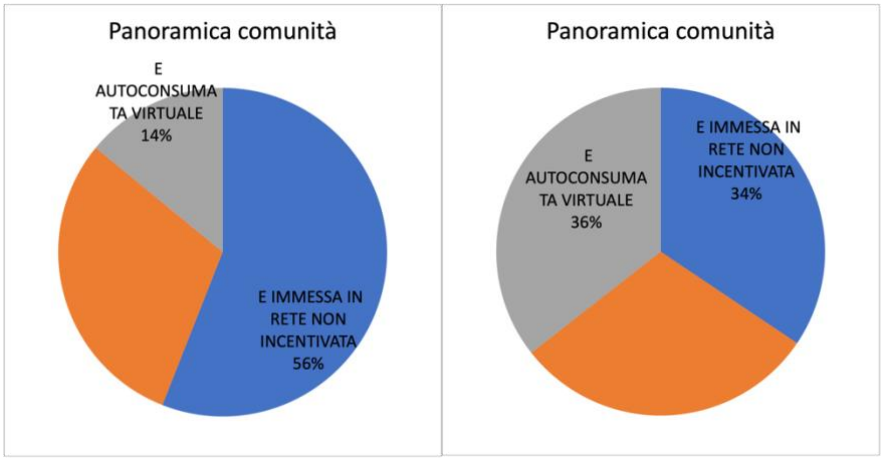


Figura 211 – Caso studio 2: Panoramica comunità nella CER2 e nella prova quattro

Gli incentivi totali della CER passano da 8.250 €/anno a 21.010 €/anno; aumenta la quota degli incentivi per il consumo che aspettano al residenziale, poiché il loro consumo totale è triplicato. Per quanto riguarda gli incentivi della produzione, aumenta la quota che spetta al commerciale, in quanto è cresciuto il carico della comunità nelle ore in cui l'impianto fotovoltaico dell'albergo immette in rete, come si può vedere paragonando la curva di carico della configurazione iniziale con quella della quarta prova.

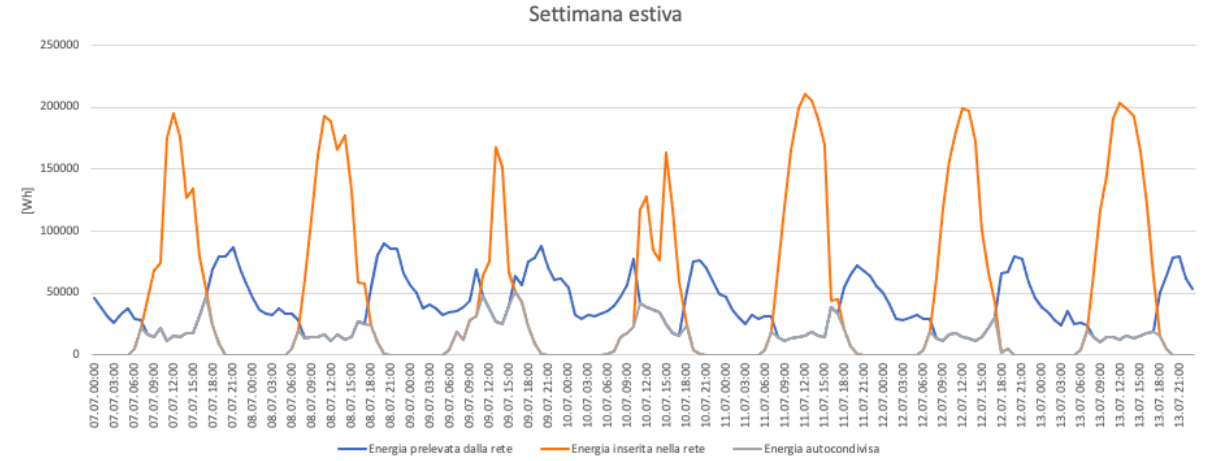


Figura 212 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione della CER2

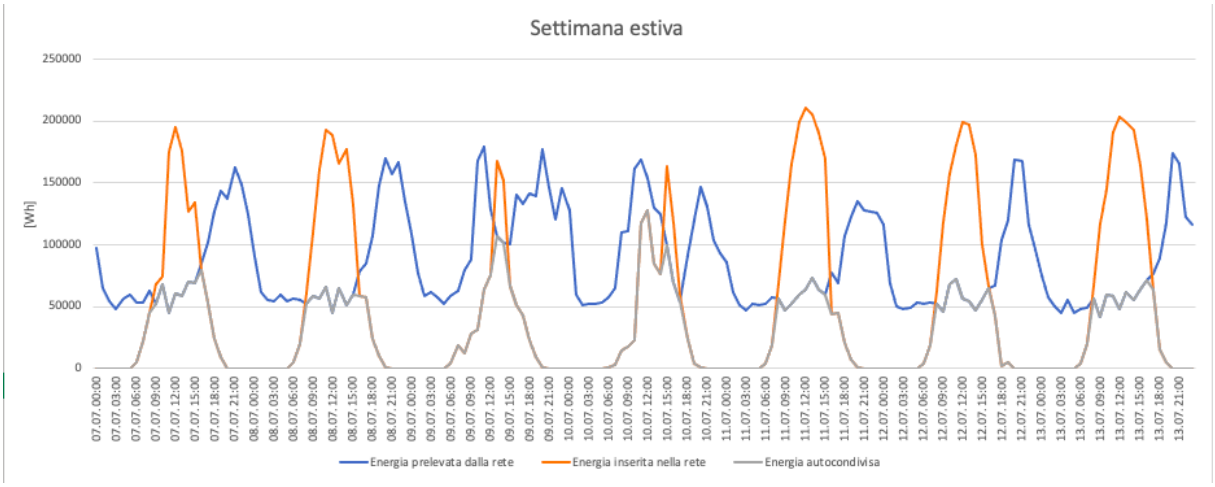


Figura 213 – Caso studio 2: Curva di carico e di immissione della quarta prova

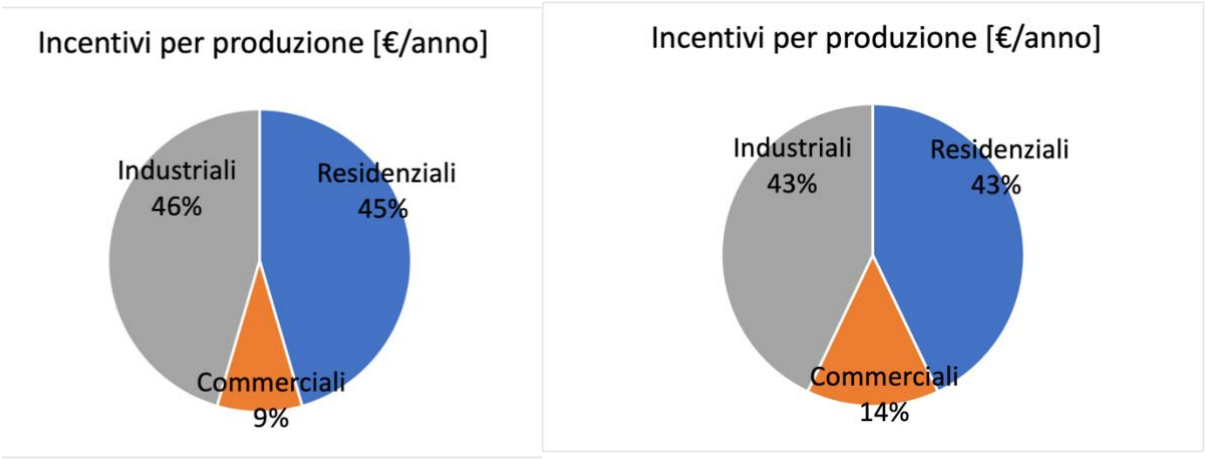


Figura 214- Caso studio 2: Incentivi per la produzione nella CER2 e nella prova quattro

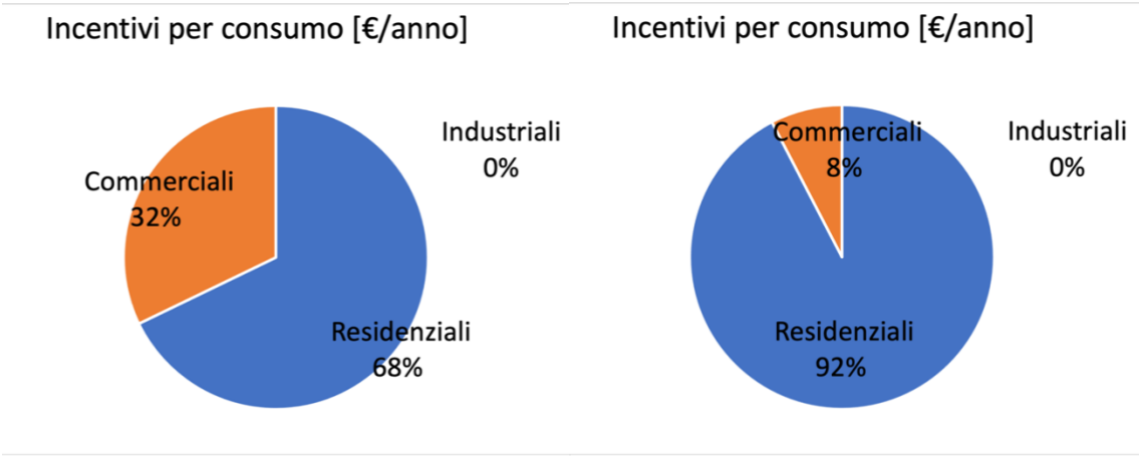


Figura 215 – Caso studio 2: Incentivi per il consumo nella CER2 e nella prova quattro

Le stesse considerazioni emergono analizzando la suddivisione dell'energia immessa, prelevata ed autoconsumata realmente e gli incentivi per ogni categoria.

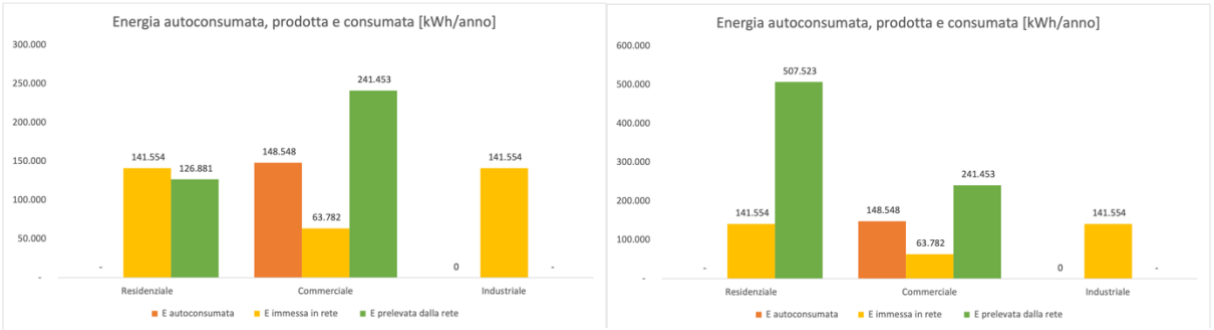


Figura 216 – Caso studio 2: Energia autoconsumata, prodotta e consumata per ogni categoria nella CER2 e nella prova quattro

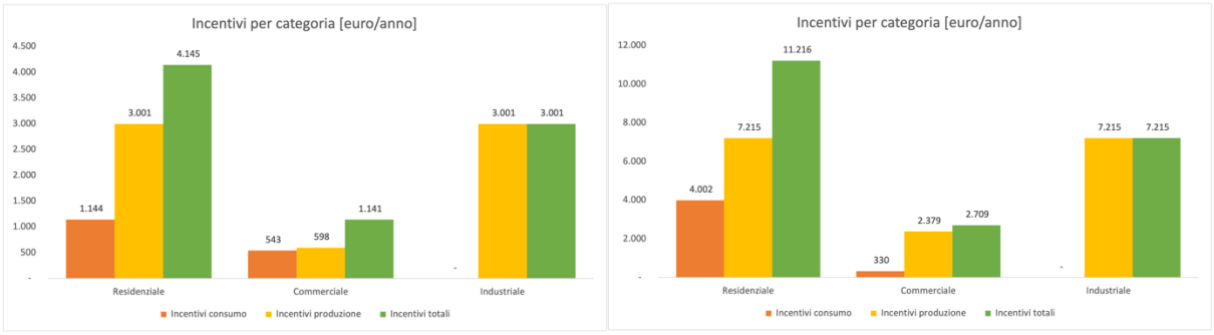


Figura 217 – Caso studio 2: Incentivi per ogni categoria nella CER2 e nella prova quattro

Il vantaggio economico degli utenti residenziali aumenta: i consumatori arrivano ad ottenere un risparmio annuo in bolletta del 3,2%, se sono piccoli, e del 3,6%, se sono grandi. Gli utenti prosumer hanno un risparmio annuo in bolletta del 78%, se sono piccoli, e del 40%, se sono grandi, in quanto, a fronte di un investimento costante, il valore del VAN aumenta e il tempo di ritorno si abbassa 6,3 anni.

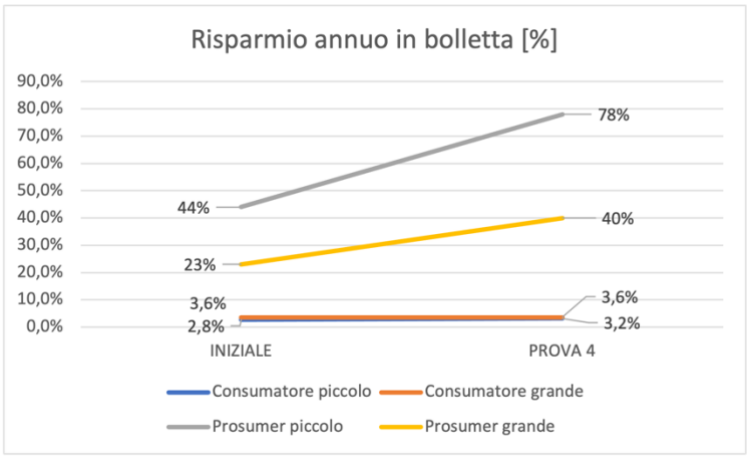


Figura 219 – Caso studio 2: Risparmio annuo in bolletta degli utenti residenziali nella prova quattro

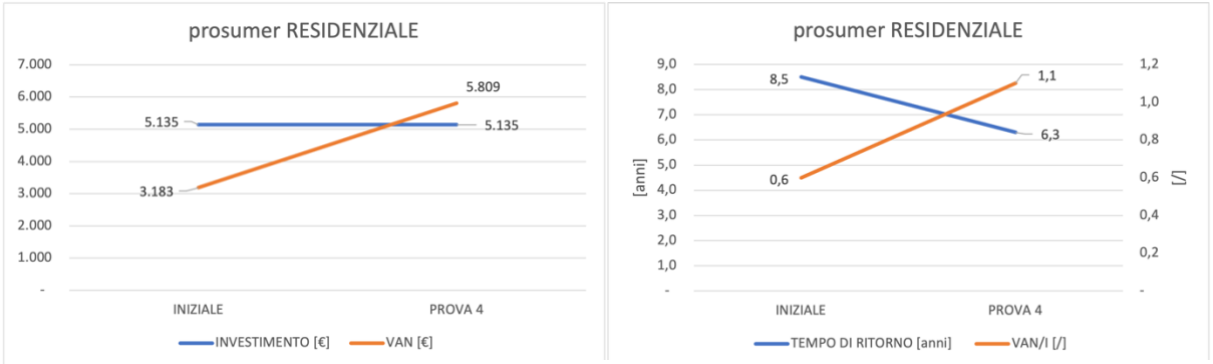


Figura 218 – Caso studio 2: Prosumer residenziale nella prova quattro

L'albergo riceve, a fronte dello stesso investimento iniziale, un valore del VAN a vent'anni maggiore, ottenendo un risparmio hanno in bolletta del 26%. L'azienda che investe sempre la stessa cifra ha un VAN al ventesimo anno molto maggiore e riduce il suo tempo di ritorno a 8,0 anni.

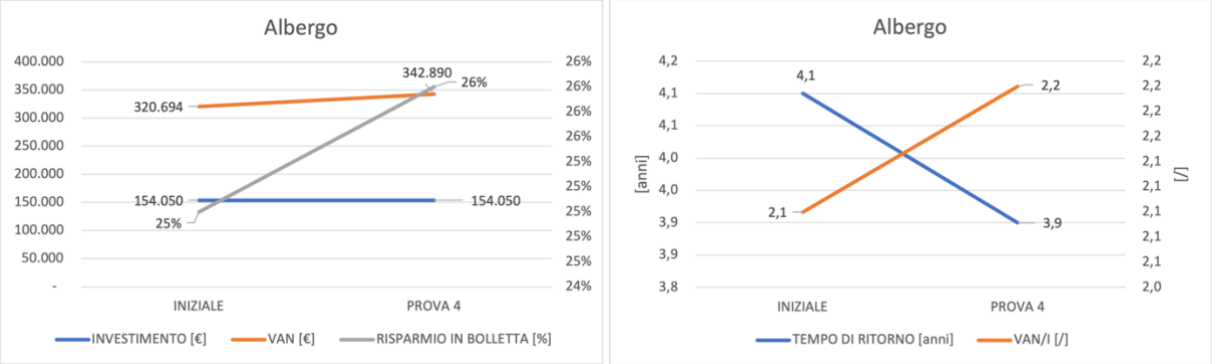


Figura 221 – Caso studio 2: Albergo nella prova quattro

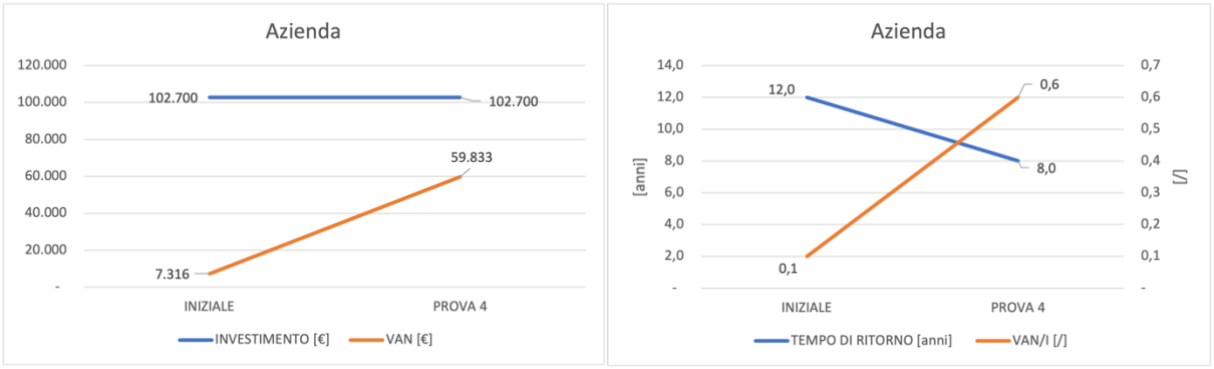


Figura 220 – Caso studio 2: Azienda nella prova quattro

Aumentare il numero degli utenti residenziali e, quindi, il carico della comunità permette di migliorare gli indicatori economici di tutti gli utenti. L'energia autocondivisa virtuale, infatti, aumenta, così come gli incentivi e si riduce la percentuale di energia immessa in rete che non viene incentivata. Il carico aggiunto, inoltre, è della stessa taglia dei carichi preesistenti, evitando di modificare le relazioni tra carichi.

Conclusioni

Per migliorare i benefici economici degli utenti che fanno parte di una Comunità di Energia Rinnovabile è necessario focalizzarsi su due indicatori: l'energia autocondivisa virtuale dalla comunità e la percentuale di energia immessa in rete che non riceve l'incentivo. È opportuno, infatti, modificare la configurazione della comunità in modo da aumentare l'energia autocondivisa e, quindi, gli incentivi e ridurre la percentuale di energia immessa in rete non incentivata. Nel fare questo, bisogna prestare attenzione alle relazioni preesistenti tra carichi e produzioni, in modo da non modificarle in maniera sostanziale: aggiungere utenze con un consumo molto più grande di quelle presenti o impianti con una produzione fuori scala porterebbe, infatti, a modificare la percentuale di suddivisione degli incentivi, facendo sì che la maggior parte di essi spettino alle utenze con dimensioni maggiori, riducendo i benefici economici degli utenti più piccoli.

Conclusioni

Questo lavoro di tesi si concentra sulla realizzazione di un software in grado di calcolare i benefici economici-ambientali di una Comunità di Energia Rinnovabile (CER).

Da un punto di vista energetico, l'istituzione di una CER permette di istallare impianti di generazione rinnovabili, di ridurre l'energia prelevata dalla rete, nel caso in cui venga realizzato autoconsumo reale, di creare uno scambio di energia virtuale tra consumi e produzioni, al di sotto della stessa cabina secondaria, e di incentivare la generazione decentralizzata, sfruttando le risorse rinnovabili locali. Le CER rappresentano, quindi, una valida soluzione per alleviare i problemi legati alla produzione centralizzata e favorire la transizione del settore energetico verso le fonti rinnovabili.

Da un punto di vista ambientale, lo sfruttamento di risorse rinnovabili permette di generare energia in modo pulito e, autoconsumandola o immettendola in rete, di evitare l'emissione di CO_2 causata dall'utilizzo di fonti inquinanti.

Da un punto di vista economico, le CER possono rappresentare un'interessante fonte di guadagno. Oltre ai ricavi per la vendita dell'energia elettrica alla rete e al risparmio per il mancato acquisto dovuto alla presenza di autoconsumo reale, si aggiungono gli incentivi erogati dal GSE, calcolati in funzione dell'energia autocondivisa virtuale dalla comunità. Sarà compito della CER definire in che modo suddividerli e far sì che tutti i suoi membri abbiano un vantaggio economico.

Entrando più nel dettaglio, diverse sono le considerazioni che possono essere fatte su una CER:

- Gli output che si ottengono dalla piattaforma e, quindi, il valore degli indicatori energetici, ambientali ed economici dipendono dalla configurazione della Comunità.
- L'energia può essere autoconsumata realmente quando il carico avviene simultaneamente alla produzione; l'impianto fotovoltaico, al posto di immettere l'energia in rete, la fornisce al carico, riducendo il suo prelievo e ottenendo un risparmio per il mancato acquisto. Per questo motivo, la quantità di energia autoconsumata reale dipende dall'andamento delle curve di carico e di produzione.
- Il profilo di carico e il consumo annuale degli utenti residenziali può cambiare in maniera significativa a seconda di una serie di indicatori, tra cui le abitudini degli utenti e la presenza di apparecchiature.
- Il consumo, sia nel totale che nell'andamento, cambia a seconda della categoria di appartenenza dei carichi: gli utenti residenziali presentano, in generale, una curva di carico con due picchi, uno all'ora di pranzo e uno verso sera; gli utenti commerciali hanno diversi andamenti, a seconda del tipo di attività e degli orari di lavoro, ma la maggior parte di essi presenta due picchi, uno a metà giornata e uno alla sera. Le curve industriali hanno, invece, valori, nei giorni di attività, pressoché costanti nel tempo.

- L’energia autocondivisa virtuale viene calcolata come il minimo, in ogni ora, tra il consumo e la produzione della comunità; il suo valore, quindi, è strettamente dipendente dall’andamento della curva di carico e di produzione totale. Aumentarla permette di incrementare gli incentivi erogati dal GSE e i vantaggi economici degli utenti presenti.
- Una maggiore potenza installata rinnovabile determina una maggiore produzione di energia elettrica e un maggiore vantaggio ambientale, in quanto, accresce la mancata emissione di CO_2.
- Rientra nelle scelte della CER come suddividere l’incentivo ricevuto. In questo lavoro di tesi è stato considerato un fattore percentuale che avvantaggia la produzione, in modo da ridurre il tempo di ritorno degli investimenti iniziali.
- Gli incentivi per il consumo permettono, se presenti, di avere un risparmio annuale in bolletta per gli utenti.
- Rientra nelle scelte della CER l’inserimento di un costo per l’ingresso nella sua configurazione.
- I consumatori possiedono un carico inserito nella Comunità di Energia Rinnovabile e ricevono una quota degli incentivi per il consumo, pur non avendo spese rilevanti per l’ingresso nella CER. Nei casi considerati, però, il guadagno ottenuto potrebbe non essere sufficiente a garantire da solo l’ingresso nella CER, ma rientrano nella scelta anche fattori sociali ed ambientali.
- I produttori hanno una percentuale di possesso di un impianto fotovoltaico inserito nella CER; i ricavi annuali che ottengono sono dati dalla vendita dell’energia alla rete e dall’incentivo per la produzione, mentre le spese principali derivano dall’O&M e dal contributo per i costi amministrativi del GSE.
- I prosumer sono associati ad un carico e ad una percentuale di possesso di un impianto fotovoltaico; guadagnano dalla ripartizione degli incentivi e dalla vendita di energia alla rete e pagano le spese legate al possesso di un impianto.
- I prosumer con autoconsumo reale possiedono un carico e un impianto fotovoltaico, con la possibilità di autoconsumare l’energia prodotta; i ricavi sono formati, oltre che dalla vendita di energia alla rete e agli incentivi del GSE, dal risparmio per il mancato acquisto di energia dalla rete.

I casi studio mostrano alcuni esempi di utilizzo dei fogli di calcolo per l’analisi di una Comunità di Energia Rinnovabile e per la definizione degli indicatori e i benefici che la contraddistinguono.

Il primo caso studio analizza i vantaggi che una serie di condomini otterrebbe dall’installazione di un impianto fotovoltaico a terra e dalla creazione di una CER. Aumentare la potenza dell’impianto fotovoltaico consente di aumentare linearmente la mancata emissione di CO_2 e l’energia autocondivisa, seppur con una pendenza minore, in quanto per potenze elevate, nella maggior parte delle ore di produzione, il minimo tra immissione e prelievo dalla rete è rappresentato da quest’ultimo. In generale, un impianto con una taglia maggiore permette di ottenere i maggiori vantaggi ambientali e di autocondividere una maggiore

quantità di energia. Dal punto di vista economico, l'inserimento nella CER viene mostrato essere vantaggioso per gli utenti residenziali, ognuno dei quali ha la stessa percentuale di possesso dell'impianto. Il VAN al ventesimo anno aumenta con la potenza considerata, ottenendo un risparmio annuo in bolletta compreso tra il 20% e il 50%, a seconda della grandezza del carico; non si ottiene lo stesso andamento per il VAN/I e per il tempo di ritorno, che trovano un massimo o un minimo per una potenza di 30 kW, la prima che ha un costo unitario che rientra nella categoria commerciale e definisce l'investimento più redditizio.

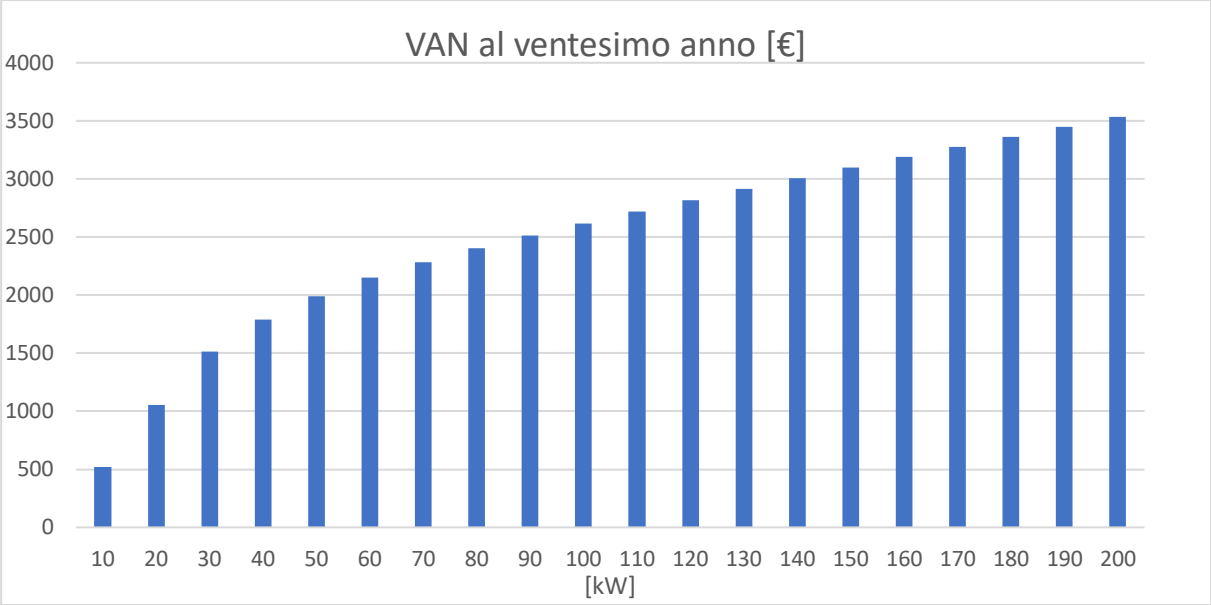


Figura 222 – Conclusioni: VAN al ventesimo anno nel caso studio 1

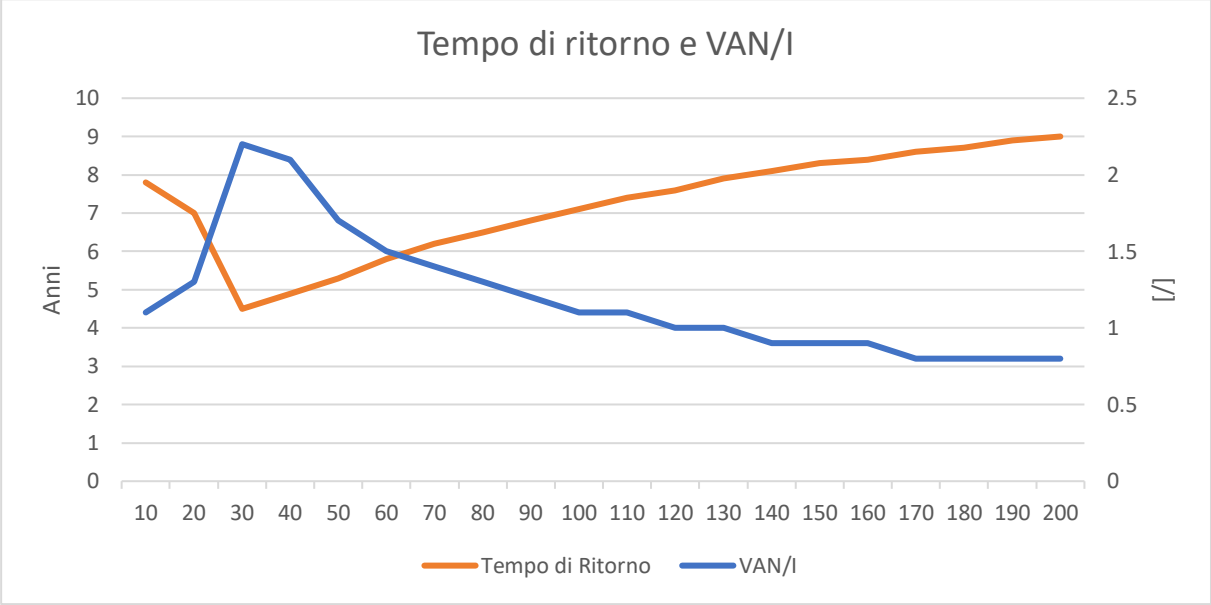


Figura 223 – Conclusioni: Tempo di ritorno e VAN/I nel caso studio 1

Analizzando la possibilità di realizzare impianti di taglia inferiore posizionati sui tetti dei condomini, pur mantenendo la potenza totale installata nella comunità costante, non si verificano variazioni da un punto di vista energetico o ambientale, ma viene causata una

diminuzione nel VAN al ventesimo anno degli utenti, in quanto sia il costo unitario che le spese sono maggiori. Avendone la possibilità, installare un unico impianto di taglia superiore appare, quindi, la soluzione più vantaggiosa.
Se l'impianto fotovoltaico viene posseduto da un producer e gli utenti residenziali entrano nella comunità come consumatori, essi ottengono un guadagno annuale molto inferiore rispetto al caso in cui detengono anche il possesso dell'impianto, con un risparmio annuo in bolletta compreso tra il 2% e il 4%, a fronte di un investimento iniziale nullo.
Aumentare il numero degli utenti e, quindi, il carico della comunità consente di suddividere in più parti l'investimento, le spese e i ricavi. Per piccole potenze dell'impianto fotovoltaico, tutta l'energia prodotta viene autocondivisa virtualmente già nella configurazione di partenza; aumentare il numero degli utenti determina una diminuzione del VAN al ventesimo anno, ma un aumento del VAN/I grazie ad un minore investimento pro-capite. Considerando potenze superiori, aumentare il carico della comunità consente di accrescere l'energia autocondivisa virtuale, gli incentivi e di ridurre la quota di energia immessa in rete che non viene incentivata. Il VAN degli utenti, diventa, allora paragonabile, se non maggiore a quello della configurazione di partenza, ma venendo realizzato con una frazione dell'investimento iniziale, determina un incremento nel VAN/I e nella redditività dell'investimento.

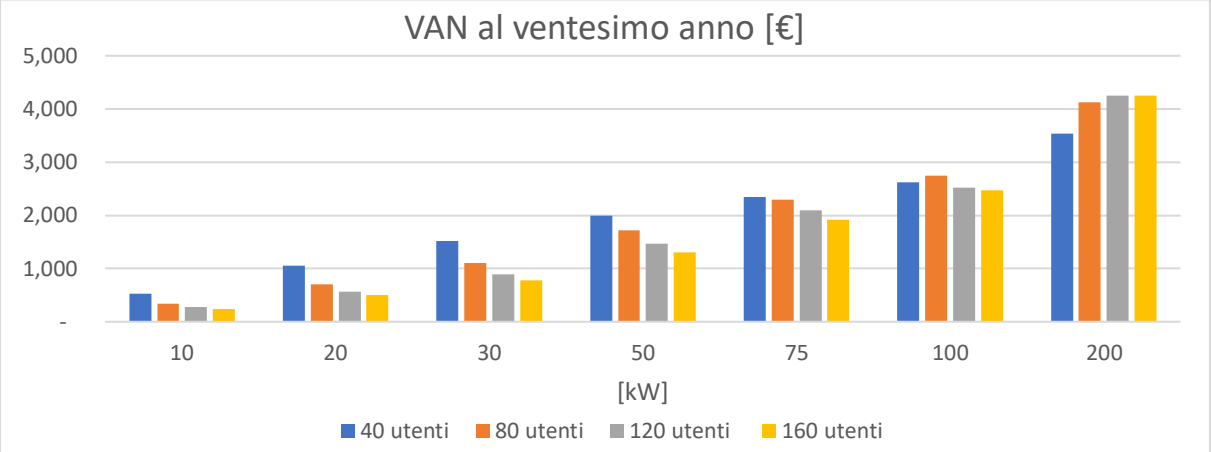


Figura 224 – Conclusioni: VAN al ventesimo anno aumentando il numero degli utenti nel caso studio 1

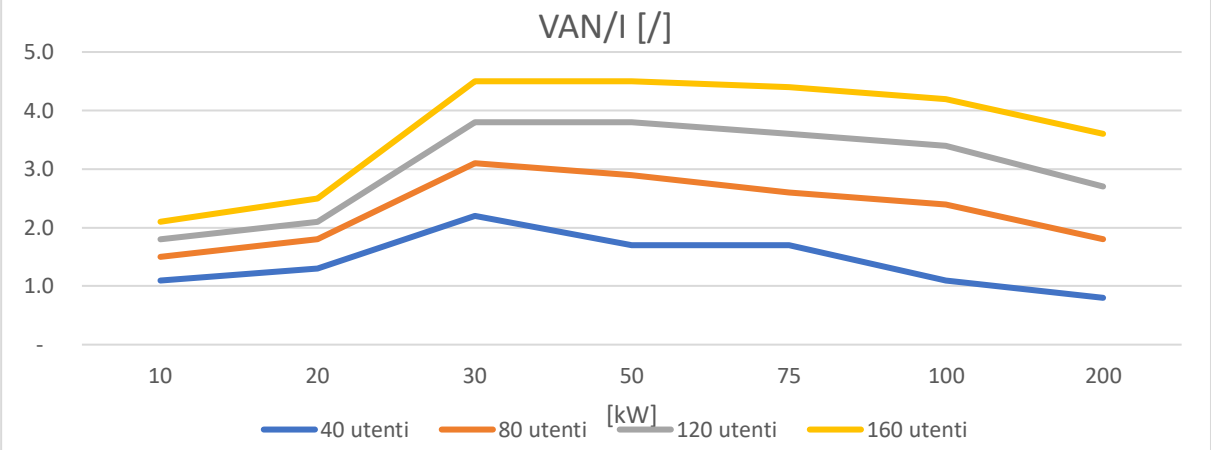


Figura 225 – Conclusioni: VAN/I aumentando il numero degli utenti nel caso studio 1

Il secondo caso studio analizza un albergo aperto tutto l'anno con chiusura a novembre che installa un impianto fotovoltaico per autoconsumo reale e valuta l'inserimento all'interno di uno schema di Scambio sul posto (SSP) o di due CER, la prima realizzata in modo che tutta l'energia immessa in rete dall'impianto venga autocondivisa virtualmente e la seconda composta da cinque condomini e un impianto fotovoltaico da 200 kW. La configurazione di Scambio sul Posto appare economicamente più vantaggiosa quando i ricavi risultano maggiori di quelli delle CER: oltre al risparmio per il mancato acquisto dell'energia elettrica, costante in entrambi i casi, questa situazione si ottiene se la somma dei contributi per lo scambio sul posto e delle eccedenze supera quella tra i ricavi per la vendita di energia alla rete e gli incentivi del GSE, nel caso di una CER.
Viene analizzata la configurazione della seconda CER ed evidenziato come i benefici economici degli utenti che ne fanno parte possono essere incrementati se si migliorano due indicatori: la quota di energia autocondivisa virtuale e la percentuale di energia prodotta che viene immessa in rete e non riceve l'incentivo. Nell'aumentare l'energia autocondivisa e nel ridurre la percentuale dell'energia immessa in rete che non riceve incentivo si sottolinea la necessità di non modificare in maniera rilevante la suddivisione percentuale degli incentivi, in quanto si potrebbe ridurre il vantaggio economico di una parte degli utenti.

Altre considerazioni che possono essere fatte sono:

- La caratterizzazione di una Comunità di Energia Rinnovabile e la definizione degli indicatori energetici, ambientali ed economici dipendono fortemente dai valori orari dell'energia consumata e prodotta. Per questo motivo, nella realizzazione della piattaforma è stato di fondamentale importanza trovare il modo più preciso possibile per definire l'andamento orario dei consumi e delle produzioni di diversi tipi di utenze. Si è deciso di utilizzare le curve fornite dai software Load Profile Generator e Polysun, modificandole per adattarle il più possibile alle situazioni reali. Le curve ottenute sono approssimate e non rispecchiano i carichi reali in maniera totalmente fedele. Per questo motivo, un miglioramento che si potrebbe apportare al software coincide con l'utilizzo di valori orari monitorati, cosa che attualmente è stata possibile solamente per la categoria industriale.
- Una possibile implementazione del software consiste nell'aumentare il suo grado di precisione, sostituendo le approssimazioni con dati sempre più dettagliati. Maggiore è il numero di dati reali, maggiore sarà l'affidabilità del risultato ottenuto.
- Il fatto che tutti i membri di una CER debbano essere collegati alla stessa cabina secondaria potrebbe essere una limitazione all'ingresso delle aziende. Le tre curve utilizzate per il settore industriale sono state ottenute misurando i consumi reali di industrie connesse in media tensione, che non sarebbero potute entrare nella Comunità. Per sfruttare le curve di carico nei fogli di calcolo, esse sono state normalizzate.
- L'attuale impossibilità di autoconsumare in una configurazione "uno a molti" potrebbe limitare la diffusione dell'autoconsumo reale negli ambienti cittadini, in cui la maggior parte degli abitanti vive in condomini con più appartamenti. Nell'ottica di ridurre il carico alla rete e di diffondere il concetto di CER, regolamentare il consumo di energia di impianti condivisi potrebbe essere significativo.

- Aumentare la quota dei carichi che si realizzano nelle ore di maggiore produzione fotovoltaica permetterebbe di incrementare l'energia autocondivisa virtuale e i benefici economici della comunità.

Ringraziamenti

Un ringraziamento speciale e tutto il mio affetto vanno alla mia famiglia e agli splendidi amici che ho incontrato durante questo percorso, non ce l'avrei fatta senza di voi.

Ringrazio tutti i Professori e i collaboratori che hanno contribuito alla mia formazione e mi hanno introdotta nel mondo dell'energia.

A PoliENERGY e a tutti gli Energy Friends dico grazie per avermi fatto scoprire la mia passione e per aver fatto insieme cose che pensavamo impossibili.

Ringrazio Gioele Porro e Valeria Pellerey per il tempo che mi hanno dedicato e per il prezioso aiuto nel realizzare questo lavoro di tesi.

Riferimenti bibliografici e sitografici

[1] IEA, Key world energy statistics, 2020
[2] BP, Statistical Review of World Energy 2019, 2019
[3] BP, Statistical Review of World Energy 2020, 2020
[4] BP, Statistical Review of World Energy 2021, 2021
[5] https://en.wikipedia.org/wiki/Centralised_generation
[6] https://www.epa.gov/energy/centralized-generation-electricity-and-its-impacts-environment
[7] United States Department of Energy, SVG version by User: J JMesserly - http://www.ferc.gov/industries/electric/indus-act/reliability/blackout/ch1-3.pdf Page 13 Title: " Final Report on theAugust
[8] Optimization of a power system with distributed generation sources - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Central-generation-a-and-distributed-generation-b3_fig1_283807936 [accessed 14 Oct, 2021]
[9] https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/ruolo-terna/come-funziona-sistema-elettrico
[8] Guido Pepermans and Johan Driesen and Dries Haeseldonckx and Ronnie J. M. Belmans and William D'haeseleer, Distributed generation: definition, benefits and issues, Energy Policy, 2005, 33, 787-798
[9] Jeremi Martin Under the supervision of Antoine Hyafil, Dean of the Energy Track at HEC Paris, Distributed vs. centralized electricity generation: are we witnessing a change of paradigm?, May 2009
[10] iea, Energy and air pollution, 2016
[11] https://it.wikipedia.org/wiki/Generazione_distribuita
[12] https://www.epa.gov/energy/distributed-generation-electricity-and-its-environmental-impacts
[13] https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=30022&nr=243&men
[14] https://ourworldindata.org/emissions-by-sector#energy-electricity-heat-and-transport-73-2
[15] https://www.qualenergia.it/articoli/clima-sempre-piu-co2-a-luglio-2019-siamo-a-414-ppm/
[16] https://annuario.isprambiente.it/sys_ind/report/html/122
[17] Prof Ettore Bompard, Politecnico di Torino, Smart electricity systems
[18] https://iiasa.ac.at/web/home/research/alg/energy-inequality.html
[19] https://ourworldindata.org/fossil-fuels
[20] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_proven_oil_reserves
[21] https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20140718STO53032/the-eu-s-energy-dependence-facts-and-figures
[22] https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_intensity
[23] https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/energy-intensity
[24] https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PP.GD?type=shaded&view=map

[25] https://www.enelgreenpower.com/learning-hub/energy-transition
[26] iea, Net Zero by 2050, A Roadmap for the Global Energy Sector, 2021
[27] JRC SCIENCE FOR POLICY REPORT, Energy communities: an overview of energy and social innovation, 2020
[28] ENEA, Le comunità energetiche in Italia
[29] Vladimir Z. Gjorgievski, Snezana Cundeva, George E. Georghiou, Social arrangements, technical designs and impacts of energy communities: A review, Renewable Energy, Volume 169, 2021, Pages 1138-1156, ISSN 0960-1481, https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.078.
[30] GSE, Guida all'autoconsumo fotovoltaico
[32] CEER, Regulatory Aspects of Self- Consumption and Energy Communities, 2019
[33] https://ec.europa.eu/energy/topics/markets-and-consumers/energy-communities_en
[34] GSE, GRUPPI DI AUTOCONSUMATORI DI ENERGIA RINNOVABILE CHE AGISCONO COLLETTIVAMENTE E COMUNITÀ DI ENERGIA RINNOVABILE Regole tecniche per l'accesso al servizio di valorizzazione e incentivazione dell'energia elettrica condivisa, 2020
[35] https://www.arera.it/it/elettricita/trasmissione.htm
[36] https://www.arera.it/it/docs/20/564-20.htm tabelle TIT
[37] http://enercommunities.eu/case-studies/
[38] Legambiente, COMUNITA' RINNOVABILI 2020 Sole, vento, acqua, terra, biomasseLo scenario della generazione distribuita nel territorio italiano Le scelte per il recepimento della Direttiva su comunità energetiche e prosumer
[39] Mahmoud Salari, Roxana J. Javid, Modeling household energy expenditure in the United States, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 69, 2017, Pages 822-832, ISSN 1364-0321, https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.183.
[40] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_and_heat_statistics#Consumption_of_electricity_per_capita_in_the_households_sector
[41] Giorgio Besagni, Marco Borgarello, The determinants of residential energy expenditure in Italy, Energy, Volume 165, Part A, 2018, Pages 369-386, ISSN 0360-5442, https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.108.
[42] https://puntienergia.com/guida/consumo-medio-energia-elettrica-famiglia
[43] Maggiore, Simone & Gallanti, M. & Grattieri, Walter & Marino, Aldo. (2012). Analisi ed evoluzione negli anni delle curve di carico dei clienti domestici. Energia Elettrica.
[44] https://luceegasitalia.it/2020/01/22/le-zone-climatiche-italiane-e-i-periodi-di-accensione-degli-impianti-di-riscaldamento/
[45] https://tasse.economia-italia.com/casa/riscaldamento-orari-periodo-accensione-condominio
[46] https://it.wikipedia.org/wiki/Classificazione_climatica_dei_comuni_italiani
[47] ENEA, Definizioni delle zone climatiche estive e della durata della stagione di climatizzazione estiva per gli edifici residenziali nel territorio italiano attraverso la metodologia dell'indice di severità climatica, 2014
[48] https://www.eia.gov/consumption/commercial/about.php
[49] https://www.eia.gov/consumption/commercial/data/2012/c&e/cfm/pba4.php
[50] ENEA, Benchmark di consumo energetico degli edifici per uffici in Italia, 2019

[51] ENEA, Caratterizzazione energetica del settore alberghiero in Italia, 2009
[51] https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/tools/hourly-radiation
[52] https://it.wikipedia.org/wiki/Flusso_di_cassa
[53] https://significatodi.com/tasso-di-sconto/
[54] https://www.cloudfinance.it/attualizzazione-dei-flussi-di-cassa-futuri.html
[55] IRENA, Renewable power generation costs in 2020, 2021
[56] https://studiocinelli.xoom.it/virgiliowizard/il-trattamento-fiscale-nella-produzione-di-energia-da-fotovoltaico.html
[57] https://www.gse.it/servizi-per-te/fotovoltaico/autoconsumo
[58] https://def.finanze.it/DocTribFrontend/getArticoloDetailFromResultList.do?id={A2557794-4998-45AB-BF7F-AE6003C9DDE1}&codiceOrdinamento=200004200000200&idAttoNormativo={74782FF5-8835-4235-BFE0-F8D4DA1A7AB4}
[57] Regole applicative per la presentazione della richiesta e il conseguimento della qualifica di SEU e SEESEU per i Sistemi entrati in esercizio successivamente al 31/12/2014 GSE
[58] https://www.mrkilowatt.it/impianti-fotovoltaici/impianto-fotovoltaico-costo-e-prezzi/
[59] https://www.studiomadera.it/news/157-impianto-fotovoltaico
[60] GSE, Prezzi medi mensili per fascia oraria e zona di mercato 2019
[64] GSE, Prezzi medi mensili per fascia oraria e zona di mercato 2020
[65] GSE, Prezzi medi mensili per fascia oraria e zona di mercato 2021
[66] https://www.servizioelettriconazionale.it/it-IT/tariffe/uso-domestico/biorarie/residente
[67] https://www.servizioelettriconazionale.it/content/dam/sen/componenti-asos-arim.pdf
[68] https://luce-gas.it/guida/bolletta/luce/imposte
[69] https://luce-gas.it/guida/bolletta/luce/differenza-costi-fissi-variabili
[70] Ing Portoraro, Impiego Industriale dell'Energia, Analisi bolletta elettrica
[71] https://www.arera.it/it/elettricita/mis.htm
[72] https://www.fotovoltaiconorditalia.it/mondo-fotovoltaico/regime-fiscale-tassazione-ricavi
[73] https://www.lavoro-economia.it/Irpef/Scaglioni-irpef.aspx
[74] https://www.informazionefiscale.it/solare-fotovoltaico-tassazione-IVA-impianti-produzione-energia
[75] https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/schede/agevolazioni/detrristredil36/schinfodetrristredil36
[76] ISPRA, Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali Paesi europei, 2020
[77] NREL, Ran Fu, David Feldman, and Robert Margolis, U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2018
[78] https://dossierse.it/17-2020-gli-schemi-di-autoconsumo-collettivo-e-le-comunita-dellenergia/
[79] https://luce-gas.it/guida/rinnovabili/fotovoltaico
[80] Terna, DATI STATISTICI SULL'ENERGIA ELETTRICA IN ITALIA

[81] Overview of the results of the household CHR24 Single woman over 65 years 0, Load Profile Generator
[82] Overview of the results of the household CHR23 Single man over 65 years 0, Load Profile Generator
[83] Overview of the results of the household CHR46 Single woman, 1 child, without work 0 Load Profile Generator
[84] Overview of the results of the household CHR22 Single woman, 1 child, with work 0, Load Profile Generator
[85] Overview of the results of the household CHR03 Family, 1 child, both at work 0, Load Profile Generator
[86] Overview of the results of the household CHR14 3+ adults: Couple, 30- 64 years, both at work + Senior at home 0, Load Profile Generator
[87] Overview of the results of the household CHR52 Student Flatsharing 0, Load Profile Generator
[88] Overview of the results of the household CHR18 Family, 2 children, parents without work 0, Load Profile Generator
[89] Overview of the results of the household CHR41 Family with 3 children, both at work 0, Load Profile Generator
[90] Overview of the results of the household CHR15 Multigenerational Home: working couple, 2 children, 2 seniors 0, Load Profile Generator
[91] http://www.bologna.enea.it/FEM/FILES/Bologna_2020/CALABRESE/2020_02_06_PDC_Calabrese.pdf
[92] https://www.hoval.ch/it_CH/Quanta-elettricità-consuma-una-pompa-di-calore%3F/wie-viel-strom-benoetigt-eine-waermepumpe
[93] ENEA, Studio comparativo tra fabbisogni energetici netti, lato edificio, sia per la climatizzazione estiva che per quella invernale di edifici residenziali e del settore terziario situati in climi differenti
[94] https://www.docenti.unina.it/webdocenti-be/allegati/materiale-didattico/305929
[95] https://www.gse.it/servizi-per-te/autoconsumo/sistemi-semplici-di-produzione-e-consumo
[96] https://www.gse.it/servizi-per-te/fotovoltaico/scambio-sul-posto
[97] GSE, SERVIZIO DI SCAMBIO SUL POSTO Determinazione del contributo in conto scambio ai sensi dell'articolo 12 dell'Allegato A alla deliberazione 570/2012/R/efr e s.m.i.
[98] https://www.mercatoelettrico.org/it/Statistiche/ME/DatiSintesi.aspx
[99] https://www.mercatoelettrico.org/it/MenuBiblioteca/documenti/Gme_RelazioneAnnualeWeb_2019.pdf
[100] https://www.arera.it/it/comunicati/20/200319.htm
[101] https://www.otovo.it/blog/scambio-sul-posto-cose-come-funziona/