

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

Relazione per la prova finale
«FOTOVOLTAICO IN CONTESTO
RESIDENZIALE: lo studio di Enea »

Tutor universitario: Prof. Giuseppe Zollino

Laureando: *Francesca Cultrera*

Padova, 22/11/2023

L'ente Enea ha intrapreso uno studio mirato a esaminare il potenziale dell'energia solare fotovoltaica in un contesto nazionale compreso tra il 2030 e il 2050, con un focus sull'impiego di pannelli solari sui tetti degli edifici esistenti, evitando così la necessità di utilizzare ulteriore suolo

Questo studio si propone di rispondere a tre domande di fondamentale importanza:

1. È possibile sfruttare esclusivamente le superfici dei tetti degli edifici esistenti per l'installazione di nuovi impianti fotovoltaici?
2. Quali saranno i livelli di produttività dei pannelli fotovoltaici entro il 2050 e qual è la potenza massima teorica che può essere installata sulle superfici dei tetti preesistenti?
3. È fattibile raggiungere l'obiettivo europeo posizionando il fotovoltaico solo sulla superficie dei tetti di edifici esistenti?

- L'Energy Services Manager ha fornito i dati riguardanti il numero di pannelli solari installati nel settore residenziale e la potenza fotovoltaica installata dal 2016 al 2021. La superficie totale richiesta per l'installazione del fotovoltaico è stata valutata considerando una superficie media per kW di 6,18 m²/kW.

| National Zones | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Valle d'Aosta | 1610 | 1738 | 1833 | 1925 | 1972 | 2094 |
| Piemonte | 39,350 | 41,976 | 44,641 | 48,030 | 50,060 | 54,141 |
| Liguria | 6204 | 6677 | 7219 | 7811 | 8282 | 8792 |
| Lombardia | 87,343 | 94,721 | 102,340 | 111,356 | 119,000 | 131,822 |
| Trentino Alto Adige | 16,715 | 17,568 | 18,284 | 19,056 | 19,004 | 20,287 |
| Veneto | 83,891 | 90,150 | 97,453 | 106,419 | 113,993 | 126,203 |
| Friuli Venezia Giulia | 25,784 | 27,159 | 28,660 | 30,323 | 31,480 | 33,395 |
| Emilia Romagna | 59,075 | 63,572 | 68,189 | 73,724 | 77,773 | 84,471 |
| Toscana | 30,705 | 32,565 | 34,604 | 36,999 | 38,420 | 41,666 |
| Umbria | 13,238 | 13,971 | 14,929 | 15,829 | 16,466 | 16,077 |
| Marche | 18,887 | 20,263 | 21,315 | 22,731 | 23,607 | 24,924 |
| Lazio | 39,906 | 43,526 | 47,159 | 51,268 | 54,328 | 58,368 |
| Abruzzo | 13,240 | 15,200 | 16,118 | 17,205 | 17,437 | 18,005 |
| Molise | 2748 | 2948 | 3049 | 3214 | 3282 | 3367 |
| Campania | 22,514 | 24,110 | 25,816 | 27,817 | 28,781 | 31,077 |
| Puglia | 30,903 | 36,235 | 38,117 | 40,644 | 42,551 | 42,782 |
| Basilicata | 4959 | 5393 | 5612 | 5974 | 5994 | 6186 |
| Calabria | 17,367 | 18,546 | 19,509 | 20,676 | 21,255 | 22,539 |
| Sicilia | 37,111 | 41,123 | 43,634 | 46,727 | 48,888 | 50,930 |
| Sardegna | 28,435 | 30,248 | 31,643 | 33,384 | 34,226 | 35,484 |
| Northwest | 134,507 | 145,112 | 156,033 | 169,122 | 179,314 | 196,849 |
| Northeast | 185,465 | 198,449 | 212,586 | 229,522 | 242,250 | 264,356 |
| Centre | 102,736 | 110,325 | 118,007 | 126,827 | 132,821 | 141,035 |
| South | 91,731 | 102,432 | 108,221 | 115,530 | 119,300 | 123,956 |
| Islands | 65,546 | 71,371 | 75,277 | 80,111 | 83,114 | 86,414 |
| Total | 579,985 | 627,689 | 670,124 | 721,112 | 756,799 | 812,610 |

Tabella 1: numero totale di FV installati

| National Zones | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Valle d'Aosta | 8.0 | 9.0 | 9.0 | 10.0 | 9.0 | 10.0 |
| Piemonte | 198.0 | 209.0 | 220.0 | 235.0 | 232.0 | 253.0 |
| Liguria | 26.0 | 29.0 | 31.0 | 34.0 | 34.0 | 37.0 |
| Lombardia | 390.0 | 421.0 | 453.0 | 493.0 | 516.0 | 578.0 |
| Trentino Alto Adige | 80.0 | 90.0 | 94.0 | 97.0 | 88.0 | 92.0 |
| Veneto | 393.0 | 421.0 | 451.0 | 491.0 | 509.0 | 568.0 |
| Friuli Venezia Giulia | 126.0 | 129.0 | 135.0 | 143.0 | 145.0 | 155.0 |
| Emilia Romagna | 271.0 | 287.0 | 306.0 | 330.0 | 330.0 | 361.0 |
| Toscana | 139.0 | 148.0 | 156.0 | 166.0 | 166.0 | 182.0 |
| Umbria | 62.0 | 66.0 | 70.0 | 74.0 | 73.0 | 73.0 |
| Marche | 93.0 | 100.0 | 104.0 | 110.0 | 106.0 | 111.0 |
| Lazio | 183.0 | 199.0 | 213.0 | 230.0 | 239.0 | 257.0 |
| Abruzzo | 71.0 | 84.0 | 88.0 | 93.0 | 88.0 | 91.0 |
| Molise | 16.0 | 17.0 | 18.0 | 19.0 | 18.0 | 18.0 |
| Campania | 118.0 | 126.0 | 134.0 | 144.0 | 145.0 | 158.0 |
| Puglia | 159.0 | 188.0 | 196.0 | 207.0 | 206.0 | 206.0 |
| Basilicata | 29.0 | 31.0 | 32.0 | 33.0 | 31.0 | 32.0 |
| Calabria | 96.0 | 106.0 | 111.0 | 117.0 | 114.0 | 120.0 |
| Sicilia | 199.0 | 221.0 | 232.0 | 247.0 | 250.0 | 262.0 |
| Sardegna | 136.0 | 148.0 | 154.0 | 161.0 | 159.0 | 163.0 |
| Northwest | 622.0 | 668.0 | 713.0 | 772.0 | 791.0 | 878.0 |
| Northeast | 870.0 | 927.0 | 986.0 | 1061.0 | 1072.0 | 1176.0 |
| Centre | 477.0 | 513.0 | 543.0 | 580.0 | 584.0 | 623.0 |
| South | 489.0 | 552.0 | 579.0 | 613.0 | 602.0 | 625.0 |
| Islands | 335.0 | 369.0 | 386.0 | 408.0 | 409.0 | 425.0 |
| Total | 2793.0 | 3029.0 | 3207.0 | 3434.0 | 3458.0 | 3727.0 |

Tabella 2: potenza installata del FV (MW)

| National Zones | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Valle d'Aosta | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.05 |
| Piemonte | 0.98 | 1.03 | 1.09 | 1.16 | 1.15 | 1.25 |
| Liguria | 0.13 | 0.14 | 0.15 | 0.17 | 0.17 | 0.18 |
| Lombardia | 1.93 | 2.08 | 2.24 | 2.44 | 2.55 | 2.86 |
| Trentino Alto Adige | 0.40 | 0.45 | 0.46 | 0.48 | 0.44 | 0.46 |
| Veneto | 1.94 | 2.08 | 2.23 | 2.43 | 2.52 | 2.81 |
| Friuli Venezia Giulia | 0.62 | 0.64 | 0.67 | 0.71 | 0.72 | 0.77 |
| Emilia Romagna | 1.34 | 1.42 | 1.51 | 1.63 | 1.63 | 1.79 |
| Toscana | 0.69 | 0.73 | 0.77 | 0.82 | 0.82 | 0.90 |
| Umbria | 0.31 | 0.33 | 0.35 | 0.37 | 0.36 | 0.36 |
| Marche | 0.46 | 0.49 | 0.51 | 0.54 | 0.52 | 0.55 |
| Lazio | 0.91 | 0.98 | 1.05 | 1.14 | 1.18 | 1.27 |
| Abruzzo | 0.35 | 0.42 | 0.44 | 0.46 | 0.44 | 0.45 |
| Molise | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 |
| Campania | 0.58 | 0.62 | 0.66 | 0.71 | 0.72 | 0.78 |
| Puglia | 0.79 | 0.93 | 0.97 | 1.02 | 1.02 | 1.02 |
| Basilicata | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 0.16 | 0.15 | 0.16 |
| Calabria | 0.47 | 0.52 | 0.55 | 0.58 | 0.56 | 0.59 |
| Sicilia | 0.98 | 1.09 | 1.15 | 1.22 | 1.24 | 1.30 |
| Sardegna | 0.67 | 0.73 | 0.76 | 0.80 | 0.79 | 0.81 |
| Northwest | 3.08 | 3.30 | 3.53 | 3.82 | 3.91 | 4.34 |
| Northeast | 4.30 | 4.59 | 4.88 | 5.25 | 5.30 | 5.82 |
| Centre | 2.36 | 2.54 | 2.69 | 2.87 | 2.89 | 3.08 |
| South | 2.42 | 2.73 | 2.86 | 3.03 | 2.98 | 3.09 |
| Islands | 1.66 | 1.83 | 1.91 | 2.02 | 2.02 | 2.10 |
| Total | 13.82 | 14.98 | 15.86 | 16.99 | 17.11 | 18.44 |

Tabella 3: superficie totale teorica del tetto richiesta dal FV installato (km²)

- Il National Electricity Network ha fornito , i dati sul consumo di energia del settore residenziale nazionale, disponibili dal 2014 al 2021.
- Il National Institute of Statistics ha fornito informazioni riguardanti il numero delle abitazioni residenziali per numero di piani, il numero di edifici per numero di unità immobiliari e il numero di unità immobiliari per superficie netta. Da questi dati si è ricavata la superficie totale teorica dei tetti (km²).

| National Zones | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Valle d'Aosta | 178.4 | 175.9 | 176.6 | 176.6 | 177.9 | 165.7 | 161.0 | 156.2 |
| Piemonte | 4579.3 | 4627.1 | 4538.6 | 4554.3 | 4555.6 | 4545.3 | 4623.2 | 4534.8 |
| Liguria | 1729.9 | 1737.5 | 1701.0 | 1693.0 | 1698.8 | 1687.3 | 1699.5 | 1686.5 |
| Lombardia | 10,999.5 | 11,341.4 | 11,124.3 | 11,258.9 | 11,333.8 | 11,511.6 | 11,456.7 | 11,346.1 |
| Trentino Alto Adige | 1195.2 | 1149.2 | 1156.2 | 1148.6 | 1160.1 | 1164.0 | 1158.9 | 1160.9 |
| Veneto | 5195.5 | 5570.4 | 5396.5 | 5552.7 | 5595.5 | 5688.0 | 5644.3 | 5747.4 |
| Friuli Venezia Giulia | 1316.4 | 1369.4 | 1340.2 | 1381.4 | 1391.2 | 1383.0 | 1377.4 | 1397.1 |
| Emilia Romagna | 4900.0 | 5201.7 | 5041.2 | 5136.2 | 5143.5 | 5159.8 | 5174.8 | 5199.8 |
| Toscana | 4032.9 | 4110.5 | 4026.9 | 4082.1 | 4087.0 | 4126.3 | 4156.8 | 4146.2 |
| Umbria | 912.0 | 935.4 | 907.6 | 926.3 | 921.6 | 925.2 | 938.4 | 945.4 |
| Marche | 1520.0 | 1555.2 | 1513.2 | 1537.2 | 1546.4 | 1543.7 | 1567.3 | 1584.6 |
| Lazio | 6699.9 | 6852.9 | 6670.5 | 6686.3 | 6456.3 | 6322.4 | 6518 | 6551.6 |
| Abruzzo | 1286.4 | 1320.9 | 1286.6 | 1304.8 | 1294.2 | 1318.1 | 1317.7 | 1337.1 |
| Molise | 284.4 | 286.4 | 279.8 | 282.4 | 276.1 | 277.7 | 281.0 | 284.8 |
| Campania | 5351.9 | 5484.1 | 5260.1 | 5347.6 | 5312.1 | 5443.8 | 5532.3 | 5633.0 |
| Puglia | 3988.5 | 4160.7 | 3996.7 | 4168.6 | 4100.6 | 4133.9 | 4175.4 | 4397.9 |
| Basilicata | 490.3 | 498.9 | 488.5 | 503.2 | 494.0 | 495.6 | 501.1 | 512.0 |
| Calabria | 1998.1 | 2044.8 | 1984.2 | 2041.9 | 1992.2 | 2036.3 | 2036.2 | 2120.7 |
| Sicilia | 5481.8 | 5614.1 | 5340.6 | 5552 | 5436.9 | 5433.2 | 5666.2 | 5974.6 |
| Sardegna | 2114.5 | 2150.5 | 2074.7 | 2156.6 | 2164.0 | 2277.1 | 2225.7 | 2335.5 |
| Northwest | 17,487.1 | 17,881.9 | 17,540.5 | 17,682.8 | 17,766.1 | 17,909.9 | 17,940.4 | 17,723.6 |
| Northeast | 12,607.1 | 13,290.7 | 12,934.1 | 13,218.9 | 13,290.3 | 13,394.8 | 13,355.4 | 13,505.2 |
| Centre | 13,164.8 | 13,454 | 13,118.2 | 13,231.9 | 13,011.3 | 12,917.6 | 13,180.5 | 13,227.8 |
| South | 13,399.6 | 13,795.8 | 13,295.9 | 13,648.5 | 13,469.2 | 13,705.4 | 13,843.7 | 14,285.5 |
| Islands | 7596.3 | 7764.6 | 7415.3 | 7708.6 | 7600.9 | 7710.3 | 7891.9 | 8310.1 |
| Total | 64,254.9 | 66,187 | 64,304 | 65,490.7 | 65,137.8 | 65,638 | 66,211.9 | 67,052.2 |

Tabella 4: consumo energia elettrica (GWh) del settore residenziale

| Zones | SFH | MFH | Total | 25° | 30% |
|-----------------------|--------|--------|---------|---------|--------|
| Piemonte | 41.85 | 46.74 | 88.58 | 97.74 | 29.32 |
| Valle d'Aosta | 1.19 | 0.07 | 1.26 | 1.39 | 0.42 |
| Liguria | 8.08 | 7.44 | 15.53 | 17.13 | 5.14 |
| Lombardia | 51.63 | 251.99 | 303.62 | 335.01 | 100.50 |
| Trentino Alto Adige | 5.52 | 2.76 | 8.28 | 9.13 | 2.74 |
| Veneto | 53.63 | 71.34 | 124.97 | 137.89 | 41.37 |
| Friuli Venezia Giulia | 16.61 | 3.68 | 20.30 | 22.40 | 6.72 |
| Emilia Romagna | 30.24 | 58.96 | 89.20 | 98.42 | 29.53 |
| Toscana | 29.55 | 39.96 | 69.51 | 76.69 | 23.01 |
| Umbria | 8.74 | 2.11 | 10.85 | 11.98 | 3.59 |
| Marche | 11.89 | 6.56 | 18.45 | 20.36 | 6.11 |
| Lazio | 32.90 | 71.37 | 104.27 | 115.05 | 34.51 |
| Abruzzo | 18.00 | 4.71 | 22.72 | 25.06 | 7.52 |
| Molise | 5.73 | 0.24 | 5.97 | 6.59 | 1.98 |
| Campania | 38.42 | 66.67 | 105.09 | 115.95 | 34.78 |
| Puglia | 72.93 | 38.16 | 111.09 | 122.58 | 36.77 |
| Basilicata | 8.41 | 0.85 | 9.26 | 10.22 | 3.07 |
| Calabria | 36.59 | 11.74 | 48.33 | 53.32 | 16.00 |
| Sicilia | 89.58 | 60.16 | 149.74 | 165.22 | 49.57 |
| Sardegna | 37.82 | 6.63 | 44.45 | 49.04 | 14.71 |
| Northwest | 102.75 | 306.24 | 408.99 | 451.27 | 135.38 |
| Northeast | 106.01 | 136.74 | 242.75 | 267.84 | 80.35 |
| Centre | 83.09 | 119.99 | 203.08 | 224.07 | 67.22 |
| South | 180.09 | 122.36 | 302.45 | 333.72 | 100.12 |
| Islands | 127.40 | 66.79 | 194.18 | 214.26 | 64.28 |
| Total | 599.33 | 752.13 | 1351.45 | 1491.16 | 447.35 |

 Tabella 5: superficie totale teorica dei tetti (km²).

Dalla tabella numero 1 è stato calcolato il tasso di crescita correlato al numero delle nuove installazioni. In particolare, sono stati considerati quattro tassi di crescita per ciascuna regione:

1. GRPhV-1: è stato valutato come valore medio considerando tutti i dati disponibili dal 2016 al 2021 e quindi potrebbe non tener conto di cambiamenti significativi avvenuti a causa di incentivi specifici o altri fattori.
2. GRPhV-2: è stato valutato come valore medio considerando tutti i dati disponibili, escludendo i valori estremi (cioè i valori minimi e massimi al fine di trascurare l'effetto dell'ultimo incentivo nazionale (Superbonus) che hanno portato ad un aumento significativo del numero di nuove installazioni in molte regioni) . Questo potrebbe rappresentare un'ipotesi di crescita più realistica, ma potrebbe non catturare completamente il potenziale di crescita.
3. GRPhV-3: è stato valutato come il valore massimo, considerando tutti i dati disponibili ma escludendo i valori estremi. Rappresenta un'ipotesi ottimistica ma meno realistica.
4. GRPhV-4: è stato valutato come valore minimo, considerando tutti i dati disponibili ma escludendo i valori estremi. Rappresenta un'ipotesi pessimistica e meno realistica.

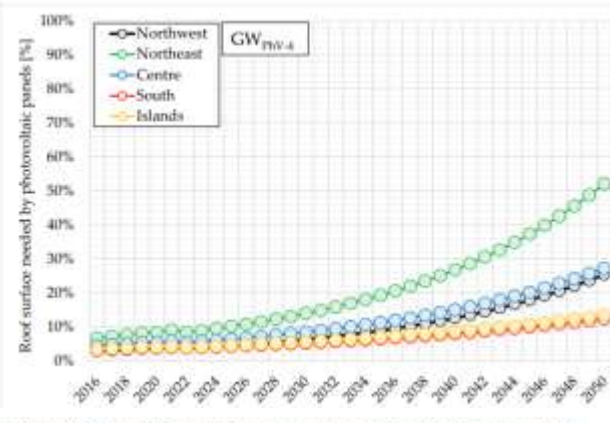
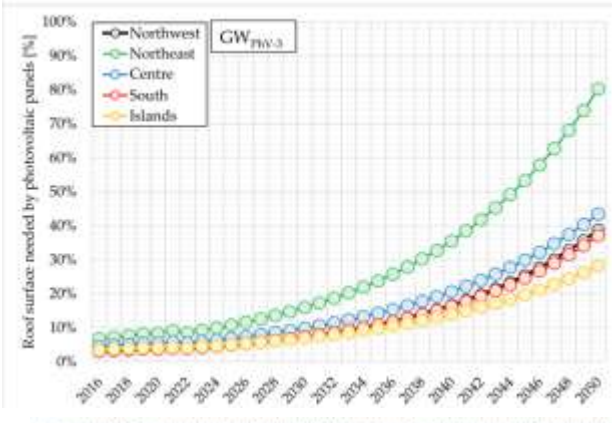
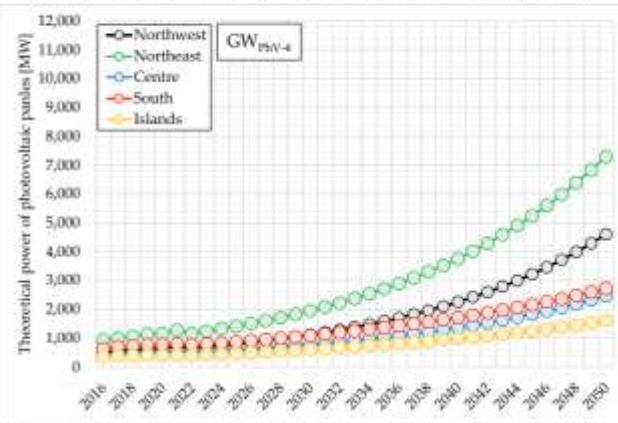
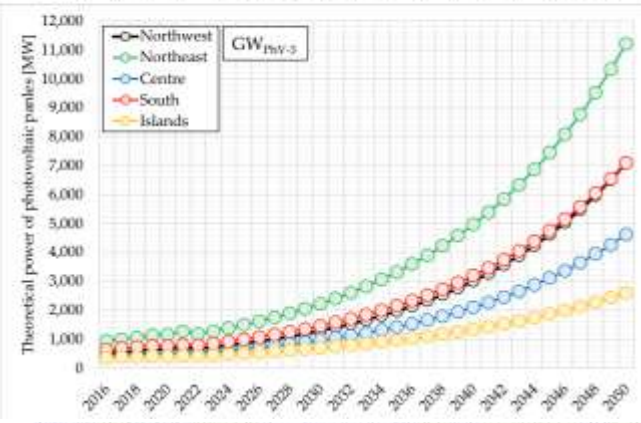
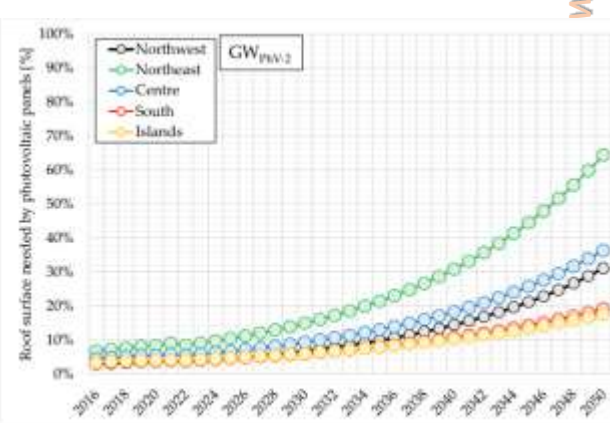
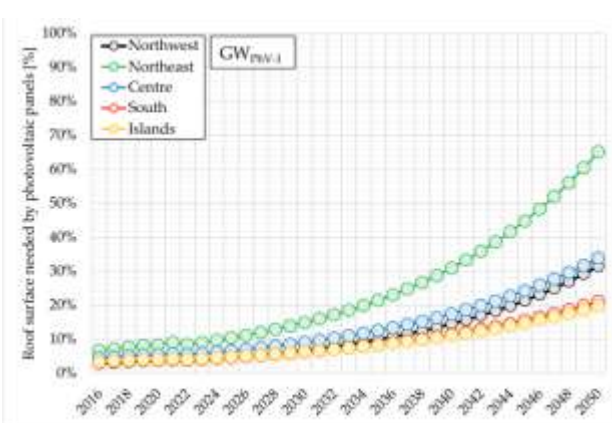
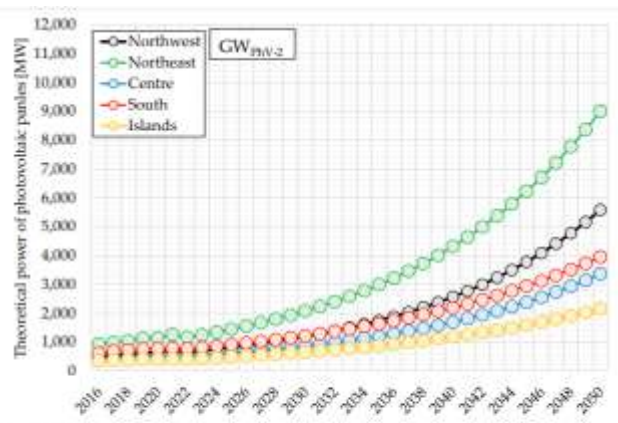
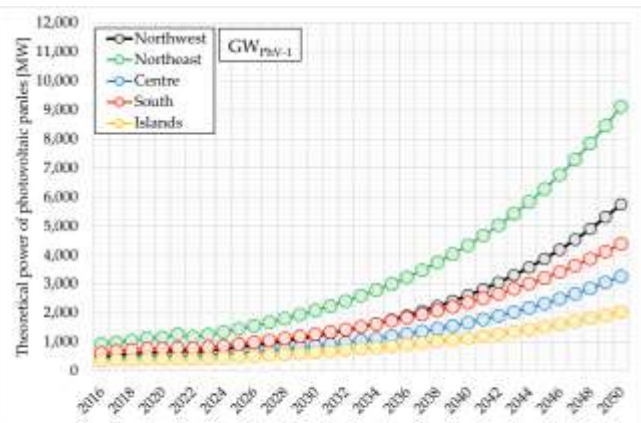
| Regions | GR _{PhV-1} | GR _{PhV-2} | GR _{PhV-3} | GR _{PhV-4} |
|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Valle d'Aosta | 5.4 | 5.6 | 6.5 | 4.3 |
| Piemonte | 6.6 | 6.9 | 7.5 | 5.7 |
| Liguria | 7.2 | 7.3 | 8.0 | 6.6 |
| Lombardia | 8.6 | 8.4 | 9.3 | 7.8 |
| Trentino Alto Adige | 4.0 | 4.5 | 5.4 | 2.7 |
| Veneto | 8.5 | 8.3 | 9.3 | 7.6 |
| Friuli Venezia Giulia | 5.3 | 5.6 | 5.8 | 4.9 |
| Emilia Romagna | 7.4 | 7.7 | 8.1 | 6.8 |
| Toscana | 6.3 | 6.4 | 7.2 | 5.4 |
| Umbria | 4.0 | 5.2 | 6.1 | 2.4 |
| Marche | 5.7 | 5.8 | 6.5 | 4.9 |
| Lazio | 7.9 | 8.2 | 8.7 | 7.3 |
| Abruzzo | 6.4 | 5.3 | 9.2 | 3.5 |
| Molise | 4.2 | 3.8 | 5.4 | 2.7 |
| Campania | 6.7 | 7.3 | 7.6 | 5.9 |
| Puglia | 6.9 | 5.5 | 9.7 | 3.5 |
| Basilicata | 4.6 | 4.6 | 6.4 | 2.5 |
| Calabria | 5.4 | 5.7 | 6.3 | 4.7 |
| Sicilia | 6.6 | 5.9 | 8.0 | 5.0 |
| Sardegna | 4.5 | 4.6 | 5.5 | 3.6 |
| Italy | 7.0 | 7.2 | 7.7 | 6.4 |

Tasso di crescita annuale delle installazioni fotovoltaiche , espresso in percentuale

Sono stati stimati anche i tassi medi di crescita associati al consumo di energia per ciascuna regione e i tassi medi di sviluppo della tecnologia per ciascuna regione . Si è visto come lo sviluppo di questa tecnologia potrebbe contribuire a un aumento della produzione di energia di circa il 6% complessivo. Tuttavia, poiché gli sviluppi di questa tecnologia in futuro non sono prevedibili e quindi l'analisi previsionale effettuata senza il tasso di sviluppo della tecnologia può essere considerata uno scenario più conservativo

L'analisi previsionale viene fatta a partire dall'anno 2022, i cui dati, non disponibili, vengono considerati uguali alla media dei valori degli anni precedenti. Quindi, per calcolare il consumo di energia e il numero di nuove installazioni di pannelli fotovoltaici tra il 2030 e il 2050, vengono applicati i rispettivi tassi di crescita.

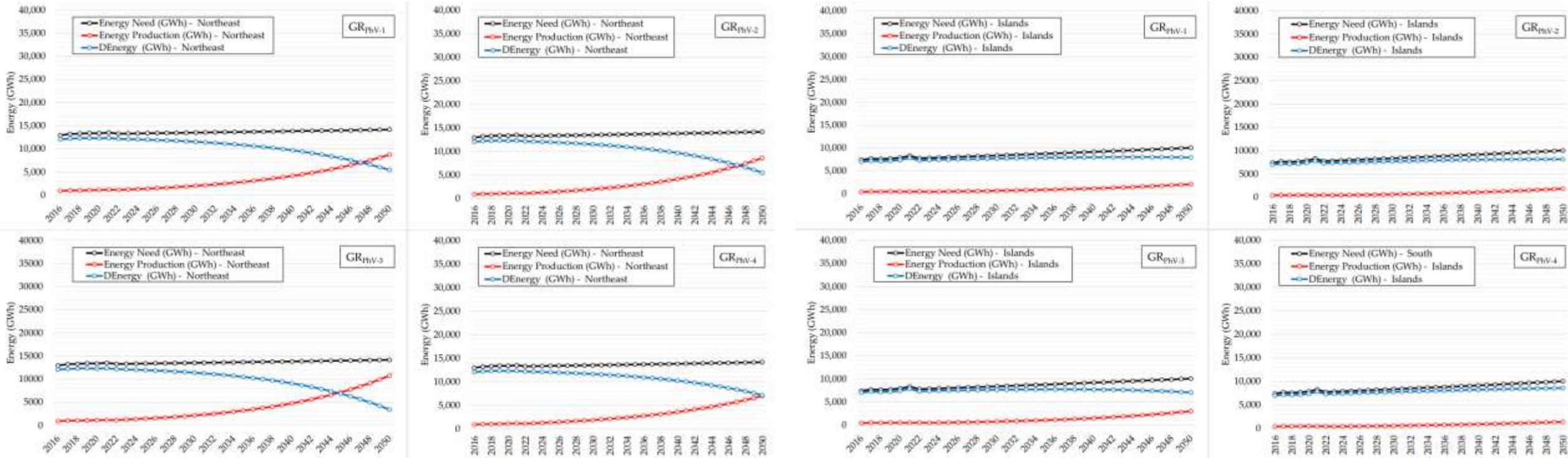
Per ogni scenario si ottengono i grafici che mostrano l'andamento, durante gli anni della potenza degli impianti fotovoltaici e della superficie teorica del tetto richiesta da quest'ultimi.



Potenza (MW) dei pannelli fotovoltaici; analisi previsionale condotta fino al 2050 per tutte le zone nazionali considerate in questo studio.

La superficie teorica del tetto (%) richiesta dai pannelli fotovoltaici installati: analisi previsionale condotta fino al 2050 per tutte le zone nazionali considerate in questo studio.

Si ottengono i grafici che mostrano l'energia prodotta dai fotovoltaici, comparata con il fabbisogno di energia. Il Nord-est è la zona che riuscirebbe col fotovoltaico a soddisfare la più alta percentuale del fabbisogno di energia elettrica del parco immobiliare, al contrario, delle Isole.



L'analisi ha rivelato che queste superfici offrono un notevole potenziale, coprendo un'area totale di circa 450 km². Questo potenziale teorico apre la strada a una capacità di installazione che potrebbe superare i 72 GW, soddisfacendo pienamente l'obiettivo Italiano (52 GW entro il 2030).

Tuttavia, il più probabile scenario ha dimostrato che entro il 2030 potrebbe essere possibile raggiungere complessivamente solo circa 6 GW di energia fotovoltaica, ovvero l'11,5% dell'obiettivo nazionale.

Si consideri che per arrivare a questa conclusione lo studio dell'Enea non ha preso in considerazione i cambiamenti climatici, poiché non facilmente prevedibili. Però la produttività dei pannelli fotovoltaici dipende molto dagli stessi in quanto la temperatura influisce sull'efficienza e l'irraggiamento sulla potenza prodotta.

Nonostante gli incentivi finanziari, come il Superbonus, e le semplificazioni burocratiche degli anni passati, è necessario introdurre ulteriori normative per promuovere una maggiore installazione di pannelli solari, specialmente al fine di soddisfare gli obiettivi europei in materia di energia rinnovabile. Queste normative potrebbero essere mirate a garantire la preservazione dell'aspetto visuale degli edifici, promuovendo così l'adozione di soluzioni che integrino in modo armonioso i pannelli solari nell'architettura esistente. L'integrazione architettonica può contribuire a ridurre le resistenze estetiche e a favorire una maggiore accettazione della tecnologia solare da parte della comunità e dei proprietari di edifici.

L'orientazione verticale, rispetto a quella orizzontale, può essere vantaggiosa per diversi aspetti, come per i tassi di accumulo di contaminanti superficiali, gli effetti di raffreddamento assistito dal vento, gli angoli di altitudine del sole ben lontani da zenitale per la maggior parte della giornata, e i riflessi delle pareti dell'edificio, che forniscono un ulteriore fondo di radiazione diffusa facilmente intercettabile dal fotovoltaico montato a parete.

In figura è mostrata l' International School of Copenhagen, dotata di multistrati a film sottile che regolano il colore riflettente delle superfici: generano una quantità significativa di energia, pari a 300 MWh all'anno, contribuendo a soddisfare oltre il 50% del fabbisogno energetico della scuola.



- Pannelli solari BIPV semi-trasparenti non concentrati

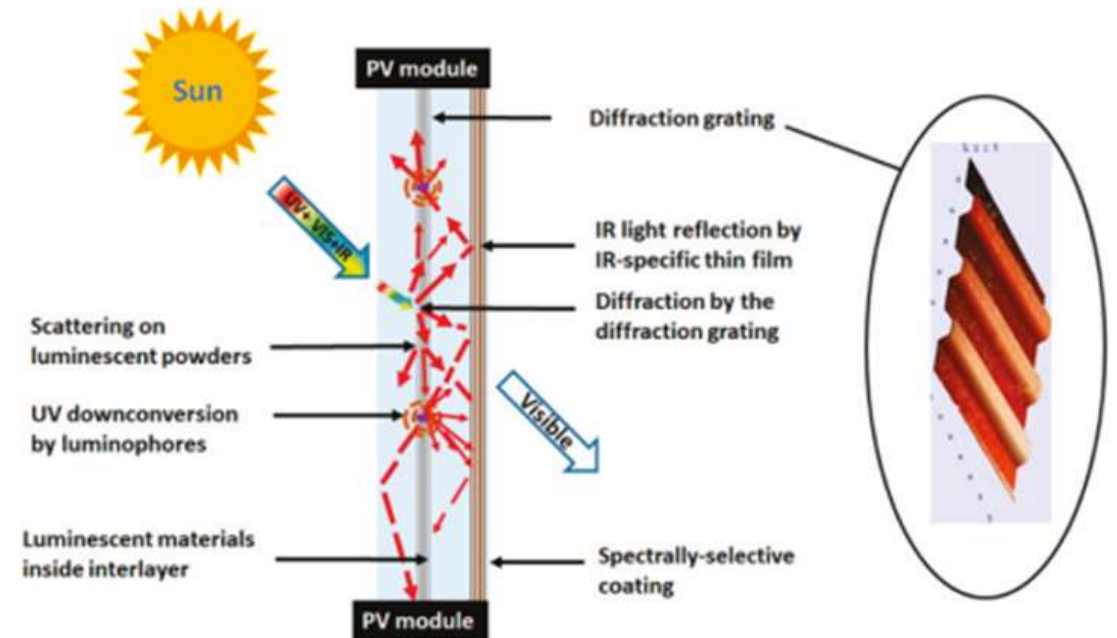
| Technology | R&D Sample or Product | VLT | PCE or P _{max} (est.) | Materials/Details |
|---|-----------------------|--------------------------|--|---|
| Dye-sensitised solar cells | sample | ~60% @ 550 nm | 9.2% | Screen-printed TiO ₂ films |
| Dye-sensitised solar cells (Solaronix) | product | N/A | ~28 W/m ² , vert. | Evaluated from the available published data |
| Transparent PV solar cells | sample | >65% | (1.3±0.1) | Organic material-based, harvesting near-IR only |
| Transparent polymer SC | sample | 64% | 4.00% | Solution processing technology |
| Semi-transparent organic SC | sample | 32% | 9.77% | Organics (dithienocyclopentathieno [3,2- <i>b</i>]thiophene) |
| Perovskite SC | sample | ~77% @ 800 nm peak | 11.71% | Semi-transparent MAPbI ₃ cell with Ag-nanowire transparent electrode; for use in tandem cells. |
| Single-junction semitransparent perovskite SC | sample | 1) 29% 2) 22% | 1) 6.4% 2) 7.3% | Methylammonium lead iodide perovskite (CH ₃ NH ₃ PbI ₃) |
| Colloidal Quantum Dot SC | sample | 24.1% (ave.) | 5.4% | PbS colloidal QDs |
| BAPV glass-integrated PV roof (AGC Sunjoule) | product | ~20% of clear glass area | ~58 W/m ² , horiz. | Mono-Si cells, separated laterally within glass |
| Hanergy BIPV panels | product | 40% (ave.) | 3.8% | Amorphous silicon |
| Onyx Solar BIPV panels | product | 30% (ave.) | 2.8% | Amorphous silicon |
| Solar First Energy Technology Co., Ltd. | product | ~33% | 6% | CdTe semitransparent BIPV modules |
| Polysolar BIPV | product | 50% (ave.) | ~55.5 W _p /m ² (5.55%) | CdTe PS-CT-40 BIPV modules (1200 × 600 × 7 mm) |
| Stability-enhanced perovskite SC | sample | N/A | Up to 20.2% | SnO ₂ electron transport layer replacing TiO ₂ . T ₈₀ operational lifetime of 625 h. |

VLT: trasmissione della luce visibile
PCE: efficienza di conversione

- Finestre solari semitrasparente di tipo concentratore

La concentratore la conversione fotovoltaica è progettata per avvenire tipicamente nelle aree attive non trasparenti delle celle solari, posizionate sui bordi delle aree di apertura semitrasparenti o trasparenti che catturano la luce. Queste aree di apertura servono a reindirizzare i raggi luminosi incidenti verso le celle fotovoltaiche e possono contenere materiali capaci di intrappolare parzialmente la luce e/o strutture di raccolta della luce che aiutano la propagazione di tipo a guida d'onda, che sfrutta il principio di riflessione interna totale, dove la luce rimbalza lungo i bordi o all'interno di una struttura, senza fuoriuscire.

Gli sviluppi di queste finestre fotovoltaiche a concentratore solare riguardano i concentratori solari luminescenti, che sono supportati dagli studi su nuovi tipi di materiali luminescenti. Ci sono anche studi dedicati a metodi per migliorare l'efficienza, che evidenziano i benefici dell'aggiunta di rivestimenti del retro riflettore.



Per una maggiore integrazione dei pannelli sul tetto in tegole si può optare per l'utilizzo di tegole fotovoltaiche

Si ottiene un duplice beneficio: produzione di energia elettrica e miglioramento dell'estetica architettonica

La loro rimozione e sostituzione sono relativamente semplici : se necessario, è possibile rimuovere le piastrelle fotovoltaiche dal tetto e riutilizzarle in un'altra posizione, ad esempio in una nuova abitazione. Questa flessibilità aggiunge un elemento di sostenibilità all'installazione delle tegole, permettendo di massimizzare l'investimento a lungo termine e riducendo gli sprechi

