



Comune di Taranto

Provincia di Taranto

Progetto per l'attuazione del P.N.R.R.:
Missione M2C2 – Energia Rinnovabile
**“LOTTO COSTITUITO DA n° 3 IMPIANTI
AGRIVOLTAICI IN SINERGIA FRA
PRODUZIONE ENERGETICA ED
AGRICOLA NO-FOOD IN AREA SIN”**

Sito in agro di Taranto

Denominazione Progetto: “ABATERESTA”

Potenza elettrica installata: DC 21,97 MW – AC 17,85 MVA

(Rif. Normativo: D.Lgs 387/2003 – L.R. 25/2012 – D.Lgs 28/2011)

Proponente:

SKI 10 S.r.l.

Via Caradosso, 9 - MILANO



del gruppo:

RELAZIONE SULL'INQUINAMENTO LUMINOSO

Progettazione a cura:

SEROS INVEST ENERGY

c.da Lobia, 40 – 72100 BRINDISI

email infoerosinvest@gmail.com

P.IVA 02227090749

Progettisti:

Ing. Pietro LICIGNANO

Iscr. N° 1188 Albo Ingegneri di Lecce

licignano.p@gmail.com

Ing. Fernando APOLLONIO

Iscr. N° 2021 Albo Ingegneri di Lecce

fernando.apollonio@gmail.com

Sommario

1. DESCRIZIONE GENERALE DEL PROGETTO.....	3
2. INQUINAMENTO LUMINOSO E SCELTE TECNICHE.....	6
2.1. RIFERIMENTI NORMATIVI.....	7
2.1.1. Legislazione.....	7
2.1.2. Normative tecniche specifiche	7
2.2. CARATTERISTICHE E CLASSIFICAZIONE DELL'AREA.....	7
2.3. PRESCRIZIONI NORMATIVE.....	8
2.4. RISULTATI DEL CALCOLO ILLUMINOTECNICO.....	9
3. FENOMENI DI ABBAGLIAMENTO.....	9
4. SITUAZIONE DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO IN ITALIA	12
5. MAPPE DELLO STATO DEL CIELO IN ITALIA	17
5.1. Brillanza artificiale a livello del mare.....	17
5.2. Brillanza totale del cielo notturno	19
5.3. Visibilità delle stelle a occhio nudo	21
5.4. Degrado della visibilità delle stelle	23
6. CRESCITA DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO IN ITALIA	25

1. DESCRIZIONE GENERALE DEL PROGETTO

Scopo del progetto è la produzione di Energia Elettrica, attraverso il processo fotovoltaico di trasformazione della radiazione elettromagnetica solare, con contestuale produzione agricola di essenze oleaginose per la produzione di biocarburanti in un'area oggi incolta in quanto ricadente in Zona SIN.

L'energia elettrica prodotta in loco dall'Impianto Fotovoltaico verrà immessa direttamente all'interno della Cabina Primaria di proprietà e-distribuzione posta esattamente di fronte all'area di impianto.

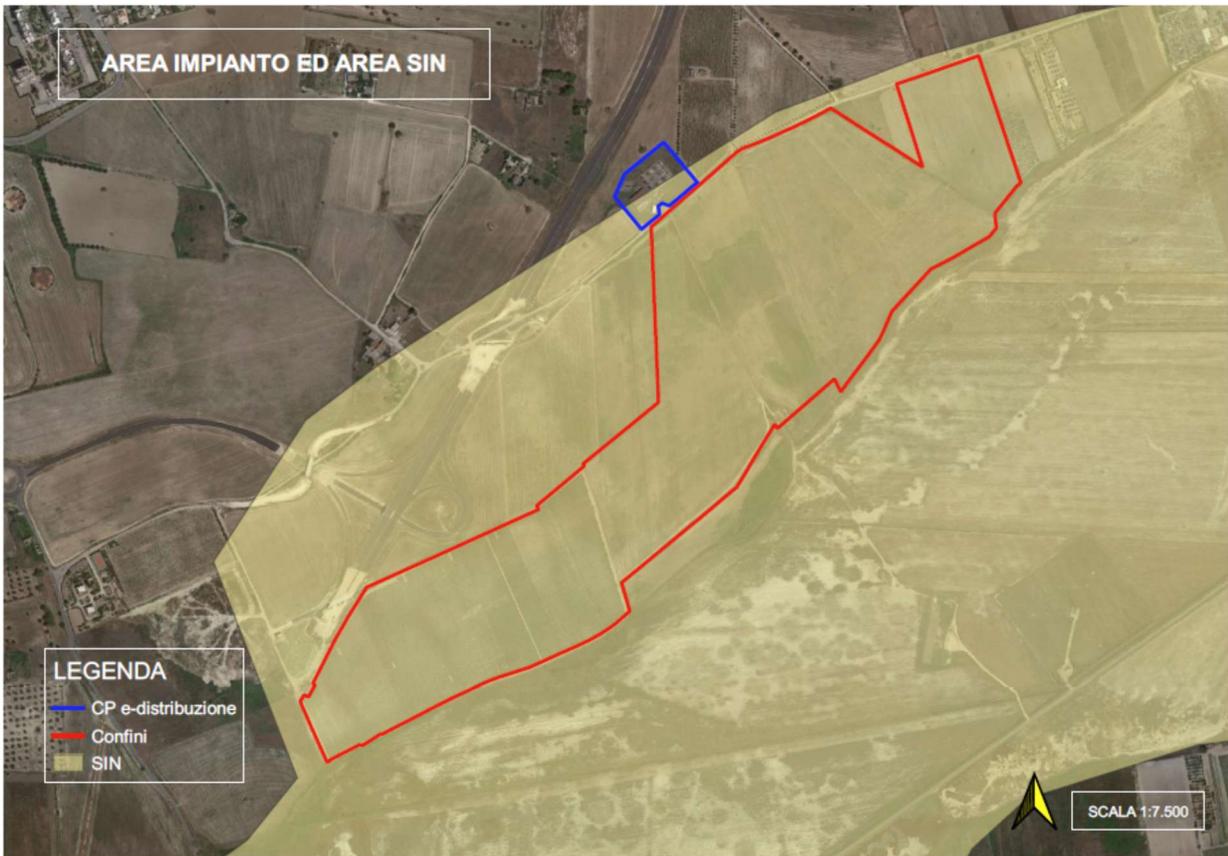
Il presente progetto, quindi, è relativo alla creazione di un'azione congiunta e sinergica fra "reddito agrario" e "reddito "energetico", ossia la possibilità di far coesistere l'attività agricola con la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile senza far prevalere l'una sull'altra e, principalmente, senza alterare la destinazione e l'uso del suolo.

L'intervento impiantistico viene proposto attraverso un Lotto costituito da n° 3 Impianti Agrivoltaici, in Provincia di Taranto, in particolare in agro del Comune di Taranto, su terreni nella disponibilità della società proponente SKI 10 S.r.l. quale proprietaria superficiaria.

Segue la localizzazione e la vista su immagine satellitare dell'area SIN di Taranto (campita in giallo), dell'area di impianto (perimetrata in rosso) e della CP e-distribuzione a cui allacciare l'impianto stesso (perimetrata in blu).

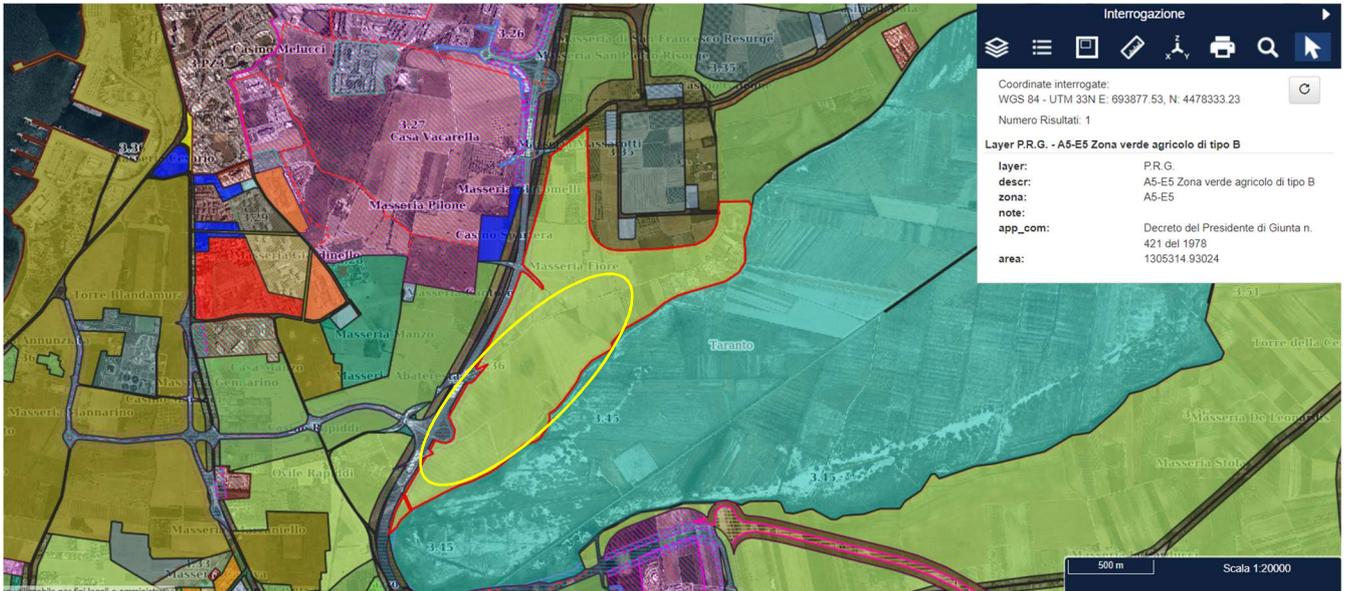


Area d'impianto in area SIN e CP e-distribuzione su Ortofoto – scala 1:90.000



Area d'impianto in area SIN e CP e-distribuzione su Ortofoto – scala 1:7.500

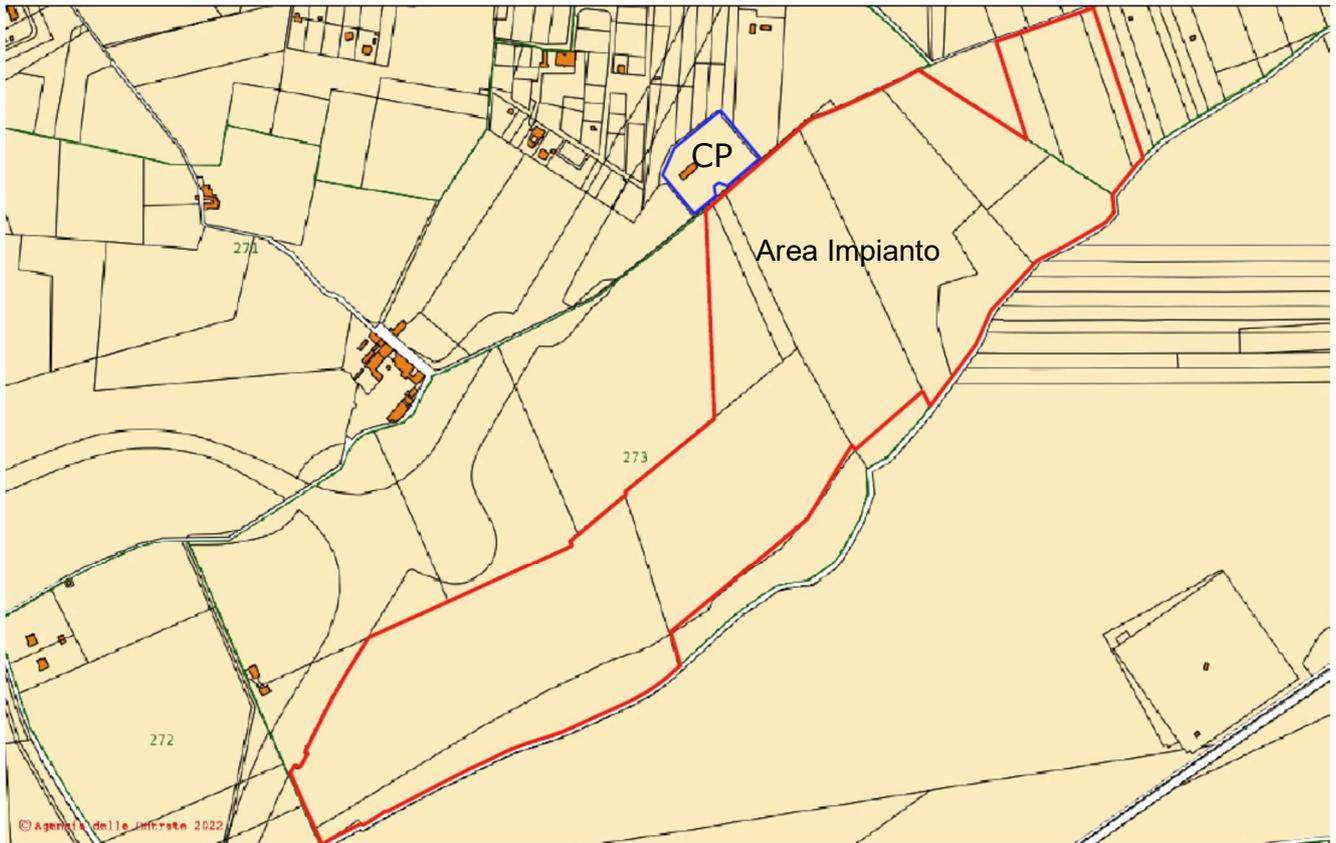
Il progetto dell'Impianto AgriVoltaico viene sviluppato all'interno di aree tipizzate urbanisticamente nel PRG di Taranto come **“Zona A5-E5: zona verde agricolo di tipo B”**.



Area d'impianto in Zona A5-E5 del PRG di Taranto

Catastralmente l'area d'impianto e la CP E-DISTRIBUZIONE sono censite nel NCT di Taranto:

- Area d'Impianto: nei **Fogli 273 (p.lle 2, 5, 6, 8, 9, 13, 14, 16, 20, 42, porzione della 40) e 266 (p.lle 46, 57, 65);**
- CP E-DISTRIBUZIONE esistente nel **Foglio 271 p.lle 111.**



2. INQUINAMENTO LUMINOSO E SCELTE TECNICHE

Si definisce “Inquinamento Luminoso” ogni forma di irradiazione di luce artificiale che si disperde al di fuori delle aree a cui è dedicata ed, in particolare, oltre il piano dell’orizzonte.

Dal punto di vista normativo la materia è regolata dalla **Legge Regionale 23 novembre 2005 n° 15** e dal **Regolamento Regionale 22 agosto 2006 n° 13**.

Le funzioni di vigilanza e controllo sulla conformità degli impianti di illuminazione esterna ai requisiti di legge competono ai comuni che possono avvalersi anche della collaborazione dell’ARPA.

La presente relazione ha lo scopo di descrivere l’Impianto di Illuminazione che si prevede di realizzare all’interno del sito di progetto e di evidenziare la conformità dello stesso a quanto stabilito dalla **L.R. n° 15/2005 “Misure urgenti per il contenimento dell’inquinamento luminoso e per il risparmio energetico”**.

Per limitare l’inquinamento luminoso non è prevista l’illuminazione perimetrale, per cui l’impianto di illuminazione sarà costituito dal solo sistema:

- Illuminazione esterno cabine.

Tale sistema è di seguito brevemente descritto.

2.1. RIFERIMENTI NORMATIVI

Gli impianti ed i singoli componenti saranno realizzati a alla regola d'arte ai sensi del DM 37/08. Le caratteristiche degli impianti e dei relativi componenti devono corrispondere alla normativa ed alla legislazione vigente alla data del contratto; tale conformità si intende riferita alle norme tecniche emanate dal C.E.I., dall'U.N.I., nonché nel rispetto della legislazione attualmente in vigore.

2.1.1. Legislazione

Legge Regionale del 23 novembre 2005 n° 15.

2.1.2. Normative tecniche specifiche

UNI 12464-2 – UNI 10819

2.2. CARATTERISTICHE E CLASSIFICAZIONE DELL'AREA

Oggetto della presente relazione sono gli impianti di illuminazione esterna relativi all'Intervento AgriVoltaico in sinergia fra produzione energetica ed agricola avente Potenza elettrica installata pari a **21,975 MW**, sito nel Comune di Taranto.

Allo scopo di limitare l'impatto luminoso dell'intervento è stato scelto di non illuminare l'intera area, limitandosi agli elementi strettamente necessari per motivi di sicurezza di esercizio.

Nello specifico, all'interno dell'intervento in oggetto è presente il seguente impianto di illuminazione esterna:

- Impianto di illuminazione del perimetro delle cabine elettriche.

Le aree illuminate dai suddetti impianti sono classificabili come "Aree di ispezione generale all'interno di impianti di produzione e trasformazione di energia elettrica".

L'impianto oggetto del presente è classificato ai sensi della norma UNI 10819 nel seguente modo:

- Classificazione dell'area: Zona 2, territorio lontano pochi km dall'Osservatorio Astronomico di Matera (anche se quest'ultimo non risulta citato tra quelli di rilievo nazionale);
- Tipo di impianto: Tipo B, illuminazione di aree tecniche per motivi di sicurezza.

Illuminazione esterno cabine

- Tipo lampade: Proiettori LED - 40 W;
- Tipo armatura: corpo Al pressofuso, forma ogivale;

- Numero lampade: 2;
- Modalità di posa: sostegno su tubolare ricurvo aggraffato alla parete. Posizione lato lungo della cabina;
- Funzione: illuminazione piazzole per manovre e sosta.

Il suo funzionamento sarà esclusivamente legato alla sicurezza dell'impianto. Ciò significa che, qualora dovesse verificarsi un'intrusione durante le ore notturne, la singola cabina violata verrà automaticamente illuminata dai proiettori a led.

Sui pali su cui sono installate le telecamere dell'impianto di videosorveglianza, invece, vi saranno degli illuminatori a raggi infrarossi a beneficio delle telecamere stesse. Quindi l'impianto sarà a funzionamento discontinuo ed eccezionale.

Inoltre la direzione di proiezione del raggio luminoso, sarà verso il basso, senza quindi oltrepassare la linea dell'orizzonte o proiettare la luce verso l'altro.

Da quanto appena esposto si può evincere che detto impianto di illuminazione è conforme a quanto riportato all'art.6 della L.R. N.15/05 "*Misure urgenti per il contenimento dell'inquinamento luminoso e per il risparmio energetico*", ed in particolare al comma 1, lettere a), b), e) ed f).

2.3.PRESCRIZIONI NORMATIVE

Per le aree in oggetto secondo la norma UNI 12464-2, sono previste le seguenti prescrizioni illuminotecniche:

- Illuminamento medio $E_m = 5$ lux;
- Valore minimo di uniformità di illuminamento $U_o = 0,25$;
- Valore massimo di Indice di Abbagliamento 50;
- Valore minimo indice di resa del colore 20;

Per quanto riguarda la norma UNI 10819, relativa all'inquinamento luminoso, sono previste le seguenti prescrizioni:

- Rapporto di emissione superiore (normativa nazionale UNI): $R_n < 5$ %;
- Rapporto di emissione superiore (Legge Regionale Puglia): $R_n = 0$ %;

Evidentemente risulta maggiormente restrittiva la Legislazione della Regione Puglia rispetto alla normativa nazionale, pertanto si farà riferimento alla prima.

2.4. RISULTATI DEL CALCOLO ILLUMINOTECNICO

Partendo dai dati di progetto, sono state eseguite delle simulazioni per il calcolo illuminotecnico con il metodo punto-punto.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

Illuminazione esterno cabine

- Valore illuminamento medio = 31 lux;
- Rapporto di emissione superiore: $R_n = 0 \%$
- Uniformità minima $U_0 = L_{\min}/L_{\text{med}} = 9 \%$;

Si precisa che si è imposto un orientamento dei proiettori non superiore a 15° rispetto alla normale verticale, in quanto dalla scheda tecnica del proiettore di riferimento (di cui è allegato alla presente il diagramma polare) l'emissione risulta trascurabile per un angolo di incidenza superiore a 65° .

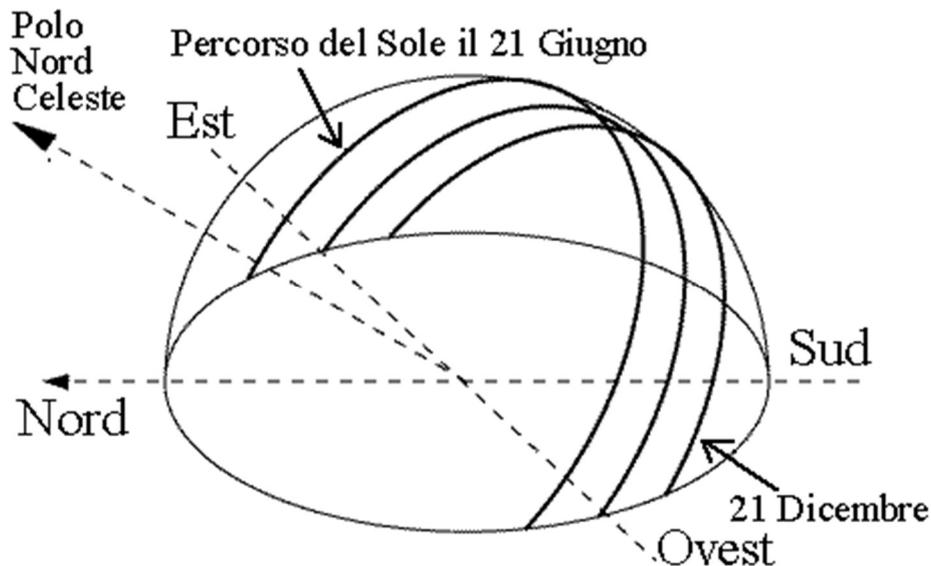
Confrontando i risultati sopra riportati con gli analoghi dettati dalla normativa vigente si può facilmente desumere che l'impianto rispetta tale normativa.

3. FENOMENI DI ABBAGLIAMENTO

In linea generale con abbagliamento visivo si intende la compromissione temporanea della capacità visiva dell'osservatore a seguito dell'improvvisa esposizione diretta ad una intensa sorgente luminosa. L'irraggiamento globale è la somma dell'irraggiamento diretto e di quello diffuso, ossia quello che giunge all'osservatore non direttamente ma precedentemente riflesso o scomposto.

L'esame del fenomeno dell'abbagliamento generato da moduli fotovoltaici nelle ore diurne dovrà considerare diversi aspetti legati principalmente alla loro orientazione, rapportandola al movimento apparente del disco solare nella volta celeste e alle leggi fisiche che regolano la diffusione della luce nell'atmosfera.

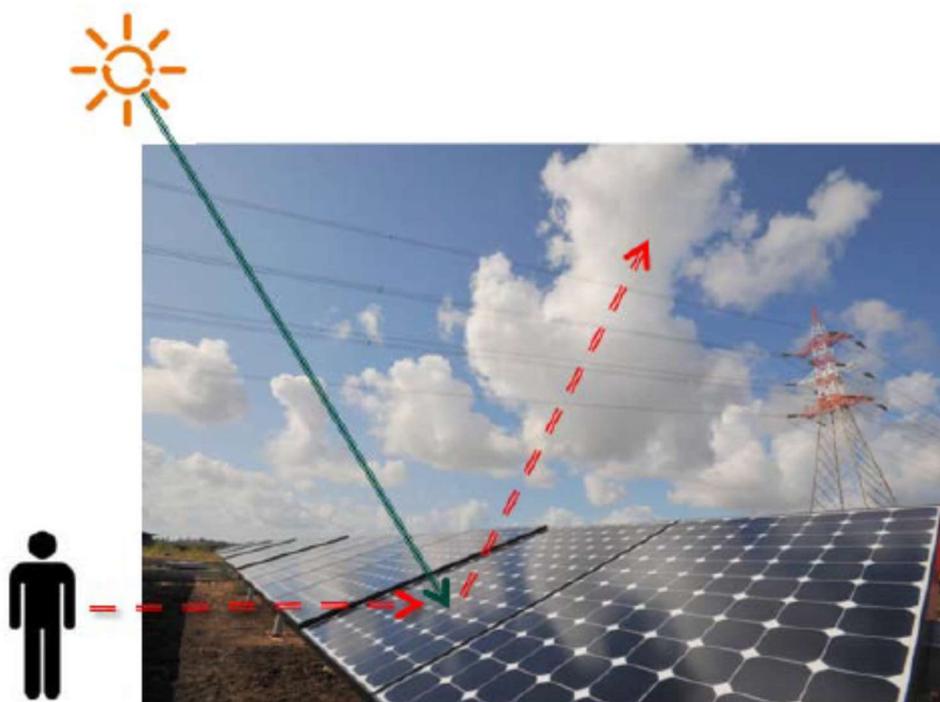
Il moto apparente giornaliero del sole, dovuto alla rotazione della terra su sé stessa, parte da Est, raggiunge il punto più alto nel cielo al mezzogiorno locale e termina ad Ovest, descrivendo un semicerchio inclinato verso la linea dell'orizzonte tanto più in direzione sud quanto più ci si avvicina al solstizio d'inverno (21 Dicembre) e tanto più in direzione nord quanto più ci si avvicina al solstizio d'estate (21 Giugno).



Moto apparente del sole per osservatore posizionato ad una latitudine nord di circa 45°

In considerazione, quindi, dell'altezza dal suolo dei moduli fotovoltaici compresa tra 0,65 e 2,80 m e del loro angolo di inclinazione in direzione est-ovest variabile rispetto al piano orizzontale, che segue con il tracker il moto del sole, il verificarsi e l'entità di fenomeni di riflessione ad altezza d'uomo della radiazione luminosa incidente alla latitudine a cui è posto l'impianto fotovoltaico in esame sono di fatto trascurabili. In ogni caso, infatti, la radiazione riflessa viene ridirezionata verso l'alto con un angolo rispetto al piano orizzontale tale da non colpire né le abitazioni, poste comunque a distanze elevate, né, tantomeno, un eventuale osservatore posizionato ad altezza del suolo nelle immediate vicinanze della recinzione perimetrale dell'impianto.

In conclusione, tale fenomeno è stato registrato esclusivamente per le superfici fotovoltaiche "a specchio" montate sulle architetture verticali degli edifici, mentre si può ritenere nullo nel caso di moduli posti a terra con inclinazione sub-orizzontale fino all'ordine di oltre 45°.



Angolo di osservazione ad altezza d'uomo

Infine, i nuovi sviluppi tecnologici per la produzione delle celle fotovoltaiche, fanno sì che, aumentando il coefficiente di efficienza delle stesse, diminuisca ulteriormente la quantità di luce riflessa (riflettanza superficiale caratteristica del pannello), e, conseguentemente, la probabilità di abbagliamento. Non esistono studi che analizzino la possibilità di generazione di incendi per effetto della riflessione dei raggi solari (principio degli specchi ustori di Archimede).

Il fenomeno di abbagliamento può essere pericoloso solo nel caso in cui l'inclinazione dei pannelli (tilt) e l'orientamento (azimuth) provochino la riflessione in direzione di strade provinciali, statali o dove sono presenti attività antropiche. Considerata la tecnologia costruttiva dei pannelli di ultima generazione, e la sua posizione rispetto alle arterie viarie (anche poderali) si può affermare che non sussistono fenomeni di abbagliamento sulla viabilità esistente, peraltro ubicata principalmente a nord del campo stesso, nonché su qualsiasi altra attività antropica.

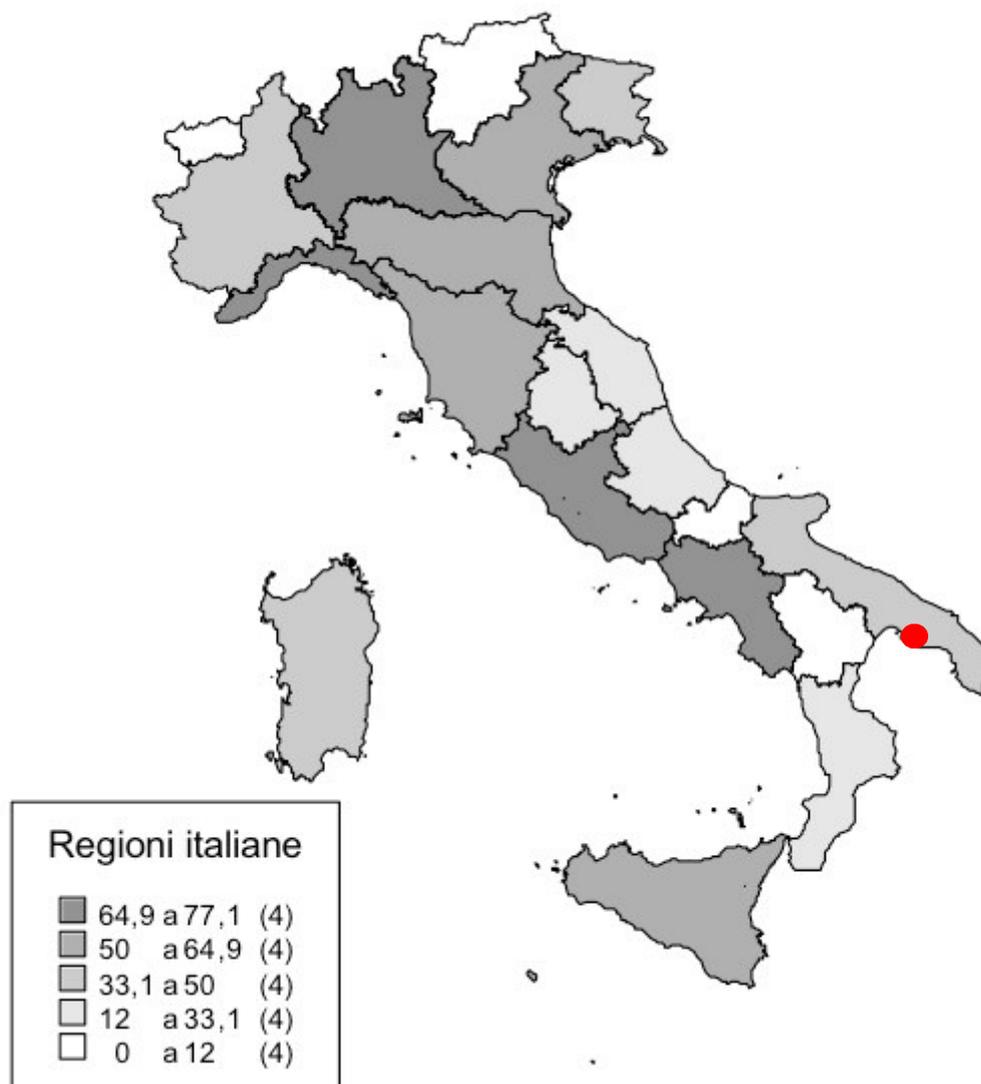
Ad avvalorare la valutazione di trascurabilità dell'impatto di tali fenomeni, si evidenzia che numerosi sono in Italia gli aeroporti che hanno già da tempo sperimentato con successo estesi impianti fotovoltaici per soddisfare il loro fabbisogno energetico (es. Bari Palese: Aeroporto Karol Wojtyła; Roma: Aeroporto Leonardo da Vinci; Bolzano: aeroporto Dolomiti ecc.), o anche nelle loro vicinanze (Aeroporto militare di Galatina - LE).

La scelta del modulo ricadrà su moduli aventi “vetro antiriflesso” in quanto progettati per diminuire sensibilmente la dispersione dovuta al riflesso della luce aumentando, di conseguenza, la quantità di energia prodotta. Grazie ad una speciale struttura piramidale del vetro frontale il riflesso dei pannelli è, praticamente, assente e si registra un aumento dell'energia prodotta intorno al 7%.

Indipendentemente dalle scelte progettuali, risulta del tutto accettabile l'entità del riflesso generato dalla presenza dei moduli fotovoltaici installati a terra o integrati al di sopra di padiglioni aeroportuali.

4. SITUAZIONE DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO IN ITALIA

Come indicatori della situazione dell'inquinamento luminoso in Italia si propongono alcuni dati sullo stato del cielo notturno che forniscono una valida indicazione di quanto l'illuminazione artificiale esterna altera la luminosità naturale dell'ambiente notturno.



Percentuale di popolazione nelle regioni italiane che vive ove la via lattea non è più visibile (da Rapporto ISTIL 2001)

Il cielo notturno in Italia è molto più degradato di quanto si creda normalmente. Gran parte degli Italiani non si rende conto di quanto sia peggiorata la percezione del cielo stellato negli ultimi 40 anni. Più di metà della popolazione italiana ha perso la possibilità di vedere la Via Lattea, anche nelle notti più serene, a causa dell'inquinamento luminoso.

Su più di tre quarti della popolazione italiana non scende nemmeno una vera e propria "notte" – definita come "cielo più buio che al crepuscolo in mezzo all'Oceano" - a causa della eccessiva quantità di luce artificiale che illumina l'atmosfera.

L'inquinamento luminoso prodotto dall'illuminazione delle città causa, per sette italiani su dieci, un vero e proprio "plenilunio artificiale": infatti il cielo notturno nel luogo ove essi

vivono è più luminoso di quanto si misura nelle notti prossime al plenilunio in siti astronomici non inquinati.

Si tratta di alcuni dei risultati rivelati dal Rapporto ISTIL 2001 su Stato del cielo notturno e Inquinamento luminoso in Italia che l'Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso (ISTIL) ha reso pubblici nel 2001 in occasione della nona edizione della Giornata nazionale contro l'Inquinamento Luminoso. Il Rapporto è stato basato su misure ottenute con i satelliti del Defence Meteorological Satellite Program dell'aeronautica militare statunitense.

In Lombardia, Campania e Lazio circa tre quarti della popolazione ha perso la possibilità di vedere la Via Lattea dal luogo dove vive, anche nelle notti più serene. In Liguria, Emilia-Romagna e Toscana due terzi della popolazione è nelle stesse condizioni. In Sicilia, Veneto, Piemonte, **Puglia** e Friuli Venezia Giulia circa metà della popolazione non riesce a vedere la Via Lattea. La percentuale scende a circa un terzo in Sardegna e Marche e ad un quarto in Abruzzo. In Umbria, Calabria e Molise solo un abitante su dieci vive in un luogo da cui la Via Lattea è totalmente invisibile. Le Regioni più fortunate sono Trentino Alto-Adige, Basilicata e Valle d'Aosta ove la Via Lattea è ancora visibile per quasi tutti almeno nelle notti più serene.

Si ottengono percentuali ben più elevate se invece di considerare quanti non vedono del tutto la Via Lattea si considerano quanti non la vedono in modo accettabile o facilmente.

Ad esempio nella Provincia di Padova due terzi della popolazione non vede più la Via Lattea ma solo meno del 4% degli abitanti è in grado in notti serene normali di vederla in modo accettabile.

Più dell'80% della popolazione di Molise e Basilicata può vedere un cielo stellato ragionevole dal luogo dove vive (stelle almeno di quinta magnitudine), ma la percentuale scende a due terzi in Trentino Alto Adige, Valle d'Aosta e Calabria, circa metà in Sardegna, Abruzzi e Umbria, un terzo nelle Marche, un quarto in Piemonte, Friuli - Venezia Giulia e Sicilia, un quinto in Toscana e Puglia, meno di un settimo in Veneto e Lazio, solo un decimo circa in Emilia-Romagna, Campania, Liguria e meno ancora in Lombardia.

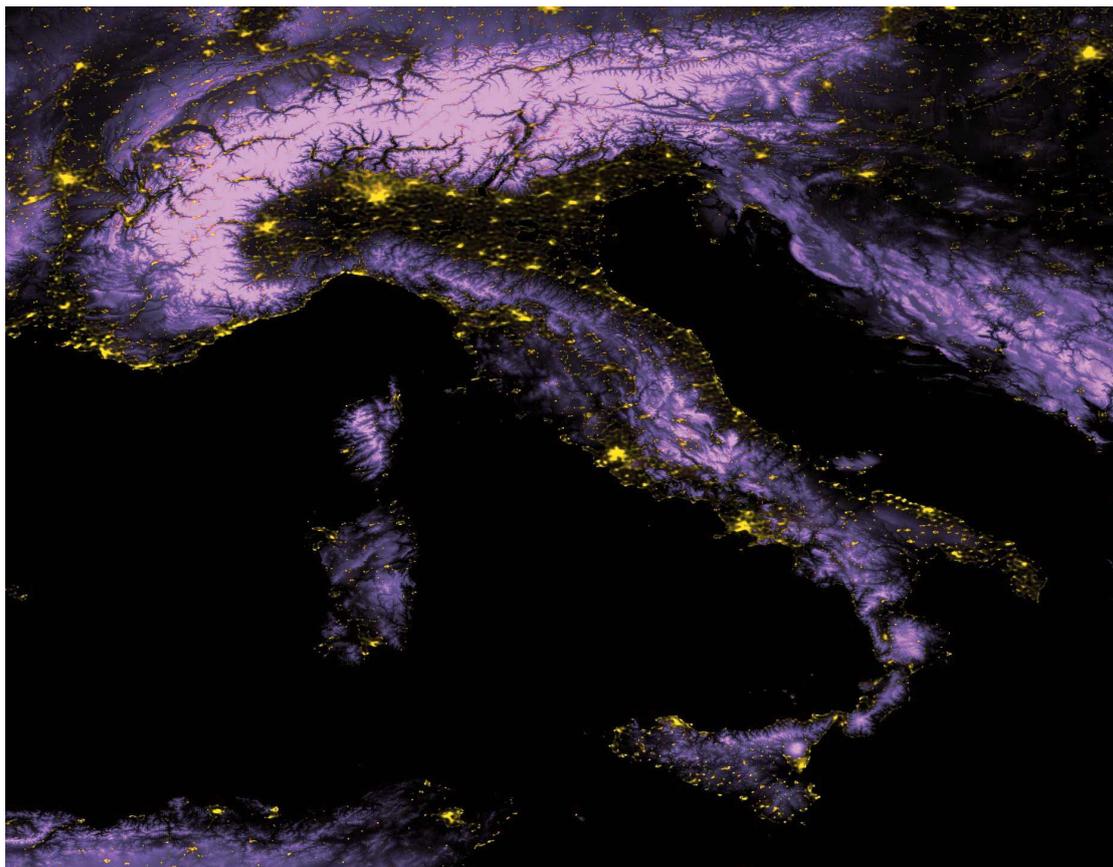
Queste percentuali non dipendono solo dallo stato del cielo ma anche dalla distribuzione della popolazione nel territorio.

La regione con la maggior frazione di superficie con cielo molto buono (stelle di magnitudine 5.5 visibili) è la Basilicata con l'81% del territorio mentre, a sorpresa, quella con la minor frazione è il Veneto con meno di un quinto del territorio, probabilmente solo le montagne vicino al confine con l'Austria.

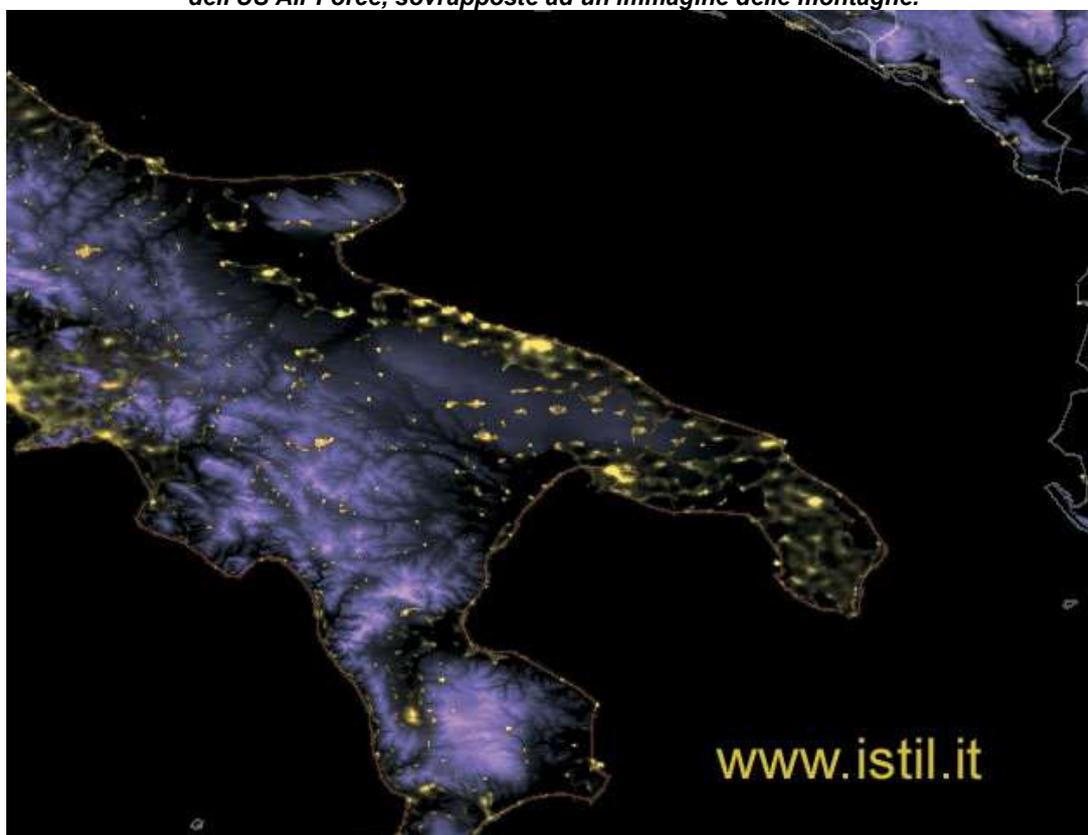
In termini assoluti e non percentuali è la Sardegna la regione con il più ampio territorio con cielo molto buono.



Le luci notturne dell'Italia e dell'Europa misurate con i satelliti



Le luci notturne dell'Italia, misurate con i satelliti del Defence Meteorological Satellite Program dell'US Air Force, sovrapposte ad un'immagine delle montagne.



Le luci notturne della Puglia, misurate con i satelliti del Defence Meteorological Satellite Program dell'US Air Force, sovrapposte ad un'immagine delle montagne.

5. MAPPE DELLO STATO DEL CIELO IN ITALIA

Le immagini che seguono riportano:

Brillanza artificiale a livello del mare (aree inquinate)

Brillanza totale del cielo notturno (luminosità del cielo)

Magnitudine limite (visibilità delle stelle)

Perdita di magnitudine (aree inquinate)

Il significato concettuale delle grandezze nelle mappe è riassunto nella tabella seguente:

Grandezza	Cosa indica:
Brillanza artificiale a livello del mare	Inquinamento luminoso in atmosfera, aree più inquinate e più inquinanti
Brillanza totale con altitudine	Luminosità del cielo
Magnitudine limite	Visibilità delle stelle
Perdita di magnitudine	Degrado della visibilità delle stelle

5.1. Brillanza artificiale a livello del mare

Queste mappe mostrano la brillanza artificiale del cielo notturno allo zenith in notti limpide normali nella banda fotometrica V, ottenute per integrazione dei contributi prodotti da ogni area di superficie circostante per un raggio di 200 chilometri da ogni sito. Ogni contributo è stato calcolato tenendo conto di come si propaga nell'atmosfera la luce emessa verso l'alto da quell'area e misurata con i satelliti DMSP. Si è tenuto conto dell'estinzione della luce nel suo percorso, della diffusione da molecole e aerosoli e della curvatura della Terra.

Essendo interessati a comprendere e confrontare la distribuzione dell'inquinamento luminoso e dei suoi effetti piuttosto che nel predire la brillanza del cielo per scopi osservativi, le mappe del primo tipo sono state calcolate a livello del mare così da evitare l'introduzione di effetti dovuti all'altitudine.

Le mappe della brillanza artificiale del cielo notturno a livello del mare sono utili per confrontare i livelli di inquinamento luminoso in atmosfera prodotti dalle varie sorgenti o presenti nelle varie aree, per determinare quelle più o meno inquinate e per identificare le porzioni di territorio più inquinanti e le maggiori sorgenti.

Queste mappe intendono mostrare i livelli di inquinamento nell'atmosfera più che la visibilità delle stelle o la luminosità effettiva del cielo in un sito che è lo scopo delle mappe successive. L'aver eseguito il calcolo per il livello del mare e per atmosfera limpida standard consente di confrontare l'inquinamento di aree diverse senza essere confusi dagli effetti

introdotti dall'altitudine o da variazioni nelle condizioni atmosferiche. Esse sono utili anche per determinare le aree più scure, laddove per "più scure" si intendano quelle con meno luce artificiale in atmosfera e non quelle da cui si vedono meglio le stelle, compito quest'ultimo delle mappe successive.

Tuttavia l'effetto dell'altitudine è abbastanza piccolo confrontato all'intervallo di validità di queste mappe che va da 0.01 a 27 volte la brillantezza naturale con livelli logaritmici per cui ogni livello indica una brillantezza artificiale tre volte maggiore del precedente. Ad esempio salendo dal livello del mare a 1350 m la brillantezza del cielo in corrispondenza del Monte Ekar, ai bordi della pianura veneta, diminuirebbe solo di circa il 20%. Naturalmente poiché il livello è piccolo rispetto la scala delle mappe ma tutt'altro che piccolo in assoluto, si devono usare le mappe successive qualora l'altitudine risulti importante o sia la brillantezza effettiva ad interessare.

Queste mappe non danno informazioni sulla visibilità delle stelle ma solo sulla brillantezza del cielo. Tuttavia poiché le aree più popolate si trovano solitamente a livello del mare, spesso sono stati usati in prima approssimazione anche per dare un'idea della visibilità stellare o della Via Lattea. Ad esempio **le aree di colore arancio approssimativamente indicano le zone in cui è molto difficile che un osservatore medio in notti limpide normali riesca a vedere la Via lattea. Il limite effettivo di invisibilità grossomodo sta tra l'arancio e il rosso** (dove la brillantezza artificiale è circa sei volte la brillantezza naturale di riferimento).

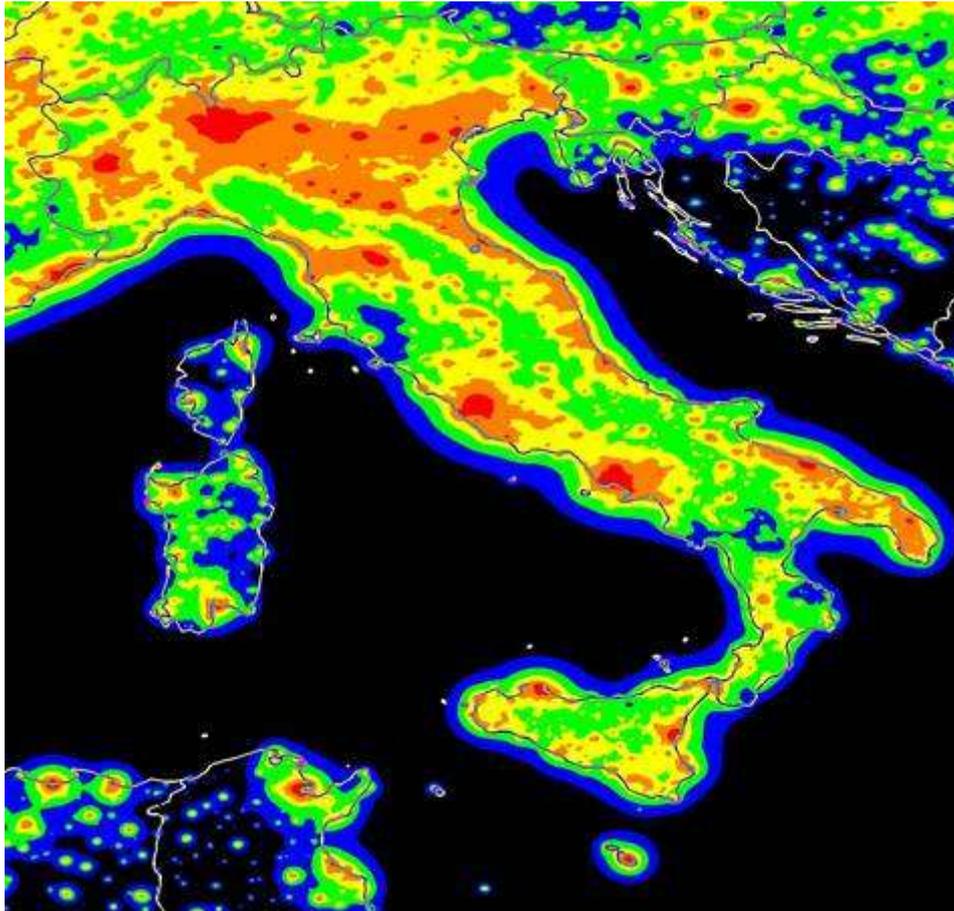


Figura 1. Brillanza artificiale del cielo notturno a livello del mare.

I livelli della brillanza artificiale sono espressi come frazione della brillanza naturale di riferimento ($8.61 \cdot 10^7 \text{ ph cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ oppure $252 \mu\text{cd/m}^2$).

<11%	nero
11-33%	blu
33-100%	verde
1-3	giallo
3-9	arancio
>9	rosso

5.2 Brillanza totale del cielo notturno

La mappa della brillanza totale del cielo notturno fornisce un'indicazione della qualità del cielo notturno in un territorio. Essa è stata calcolata allo zenith tenendo conto dell'altitudine e della brillanza naturale del cielo (anch'essa funzione dell'altitudine).

L'altitudine ha effetto sulla brillanza naturale del cielo, sulla brillanza artificiale e sulla estinzione della luce stellare ed è stata ottenuta da una mappa digitale (DEM). La brillanza naturale dipende dalla direzione di osservazione e dall'altitudine ed è stata ottenuta con i modelli di Garstang (1989) che tengono conto della luce naturale proveniente da tutto il cielo

che viene diffusa dalle particelle e dalle molecole lungo la linea a di vista dell'osservatore per le condizioni atmosferiche assunte.

Le aree più buie (colore bianco) sembrano leggermente più estese in questa mappa che in quella della brillantezza artificiale a livello del mare. Si tratta di un effetto apparente dovuto all'ampio intervallo tra livelli diversi (0.5 magnitudini per secondo d'arco quadrato) che non mette in evidenza le aree dove la brillantezza artificiale è solo una frazione di quella naturale.

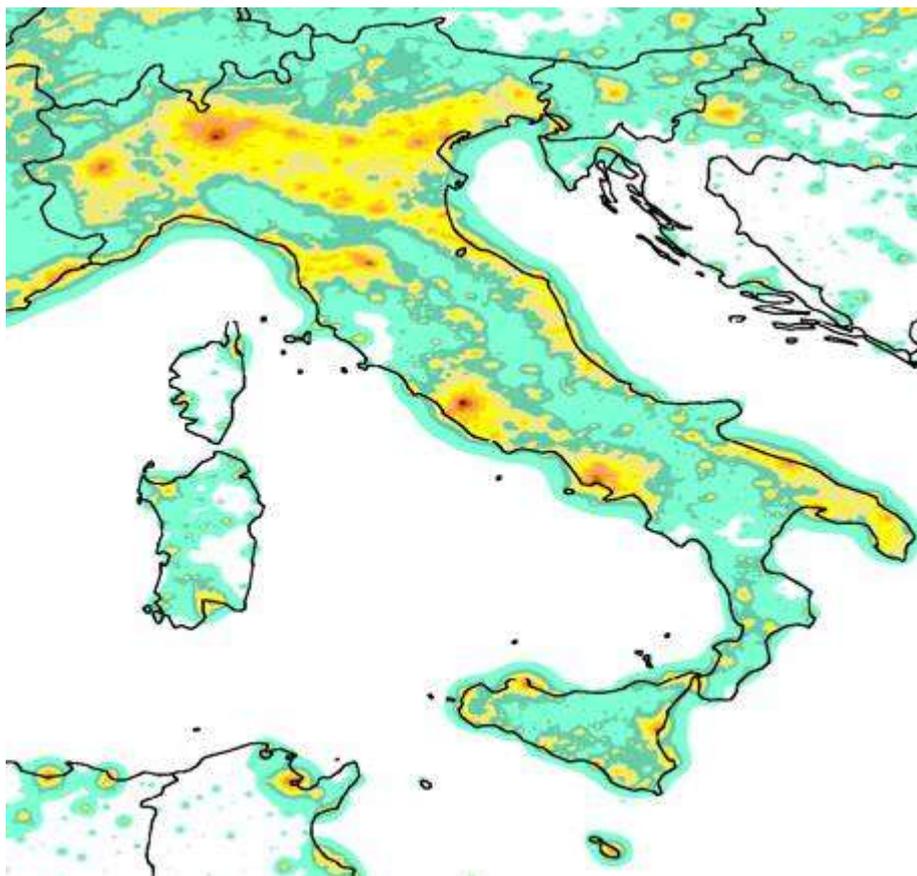


Figura 2. Brillanza totale del cielo notturno.

I livelli colorati nella mappa corrispondono ad una brillantezza totale in magnitudini V per secondo d'arco quadrato di:

>21.5	bianco
21-21.5	verde
20.5-21	verde scuro
20-20.5	kaki
19.5-20	giallo
19-19.5	giallo scuro
18.5-19	rosa
18-18.5	arancio
17.5-18	marrone
<17.5	rosso scuro

Si presenta qui di seguito una tabella che associa alla brillantezza del cielo in magnitudini per secondo d'arco un giudizio qualitativo sulla sua luminosità allo zenith. Pur senza alcuna pretesa di accuratezza, essa può essere utile ai non esperti per comprendere il significato dei valori di brillantezza in legenda. Si tenga conto che ogni giudizio è sempre soggettivo. Un cielo di 21 mag/arcsec² può essere considerato estremamente luminoso per un sito che aveva un cielo molto buono.

<19.5 mag/arcsec ²	cielo fortemente luminoso
20 mag/arcsec ²	cielo molto luminoso
20.5 mag/arcsec ²	cielo luminoso
21 mag/arcsec ²	cielo poco luminoso
21.5 mag/arcsec ²	cielo mediamente buio
>21.5 mag/arcsec ²	cielo estremamente buio

5.3 Visibilità delle stelle a occhio nudo

La mappa della visibilità delle stelle ad occhio nudo, ossia della magnitudine limite ad occhio nudo, indica la possibilità della popolazione di vedere stelle di una data luminosità (o magnitudine). La mappa è calcolata per lo zenith e tiene conto dell'altitudine, dell'estinzione della luce delle stelle nel suo tragitto nell'atmosfera e della capacità dell'occhio medio di distinguere sorgenti puntiformi su uno sfondo luminoso.

Questa mappa, è bene precisare, non dà alcuna indicazione precisa sulla luminosità del cielo o sull'inquinamento luminoso perché l'altitudine e l'estinzione della luce confondono i risultati. Ad esempio, le montagne vicino al Nord dell'immagine potrebbero sembrare non inquinate dal momento che la magnitudine limite è la stessa che si vede nelle zone non inquinate del mare all'angolo in basso a sinistra. Tuttavia l'estinzione della luce stellare è minore per un sito in quota che per un sito a livello del mare, perché la luce incontra meno particelle e molecole diffondenti nel suo più breve tragitto. Quindi la magnitudine limite aumenta con l'altitudine. In conclusione il fatto che le montagne abbiano la stessa magnitudine limite delle aree di mare non inquinate indica che le montagne sono **TALMENTE INQUINATE** che la visibilità delle stelle in quelle zone è confrontabile a quella che si ha a livello del mare in zone non inquinate.

Come Blackwell (1946) e autori hanno mostrato, la relazione tra magnitudine limite e brillantezza del cielo non è lineare e, inoltre, è un concetto statistico. Un numero di fattori agiscono sulle misure dell'occhio (Garstang 2000; Schaefer 1991) come le capacità individuali, le dimensioni individuali della pupilla, l'esperienza che fa sì che un osservatore consideri certa la visione a livelli diversi di probabilità, la durata dell'osservazione e così via.

Quindi possiamo solamente predire la visibilità stellare di un osservatore medio pur tenendo conto di numerosi dettagli quali ad esempio il diametro della pupilla dell'osservatore medio che dipende dall'età, differenze di colore tra le sorgenti di laboratorio e le stelle osservate o tra lo sfondo di laboratorio e il cielo notturno, differenze tra la curva di sensibilità della visione notturna e la banda fotometrica V nel calcolo della estinzione stellare, etc.

La mappa mostra il centro della distribuzione statistica della magnitudine limite allo zenith per un campione di osservatori di esperienza media e capacità media, con età media di 40 anni, gli occhi adattati al buio e che osservino con entrambi gli occhi, senza usare tecniche particolari. Come discusso da Schaefer (1991), astrofili esperti potrebbero individuare stelle anche una magnitudine più deboli se la luminosità del cielo consente agli occhi un sufficiente adattamento al buio.

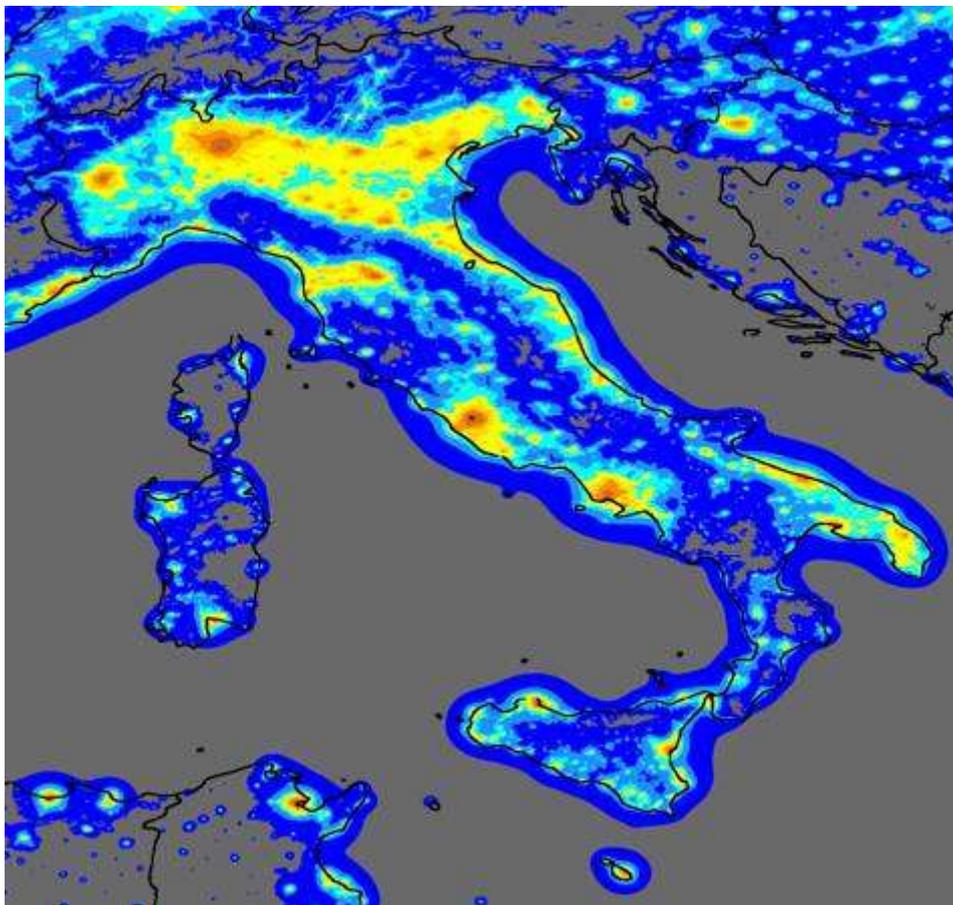


Figura 3. Visibilità delle stelle a occhio nudo.

I livelli corrispondono alla magnitudine in banda V:

>6.0	nero
5.75-6.0	grigio
5.5-5.75	blu
5.25-5.5	blu chiaro

5.0-5.25	azzurro
4.75-5.0	giallo
4.5-4.75	giallo-oro
4.25-4.5	arancio
4.0-4.25	arancio scuro
3.75-4.0	rosso
<3.75	violetto

Un cielo ben fruibile e che non penalizzi troppo l'osservazione astronomica è quello con magnitudine limite superiore a 5.5 mag, indicato nella mappa in blu, grigio e nero. Come si vede **non esistono zone sul territorio italiano rappresentate in nero, esse si trovano su montagne poste in zone incontaminate.** Anche le zone indicate in grigio e blu, con gli attuali tassi di crescita della brillantezza artificiale, sono destinate a restringersi fino a sparire, a meno di sostanziali interventi legislativi correttivi.

Si presenta qui di seguito una tabella che associa alla magnitudine limite in banda V un giudizio qualitativo sulla qualità del cielo visibile. Si tenga conto che essa non ha alcuna pretesa di accuratezza e rappresenta un giudizio piuttosto arrischiato, ma si ritiene possa essere un utile guida per i non esperti alla comprensione del significato dei valori in legenda.

Si tenga conto che ogni giudizio è sempre soggettivo e che valgono le considerazioni già svolte in precedenza sulle differenze tra un osservatore medio ed un astrofilo esercitato.

mag 4	cielo appena stellato
mag 4.5	cielo poco stellato
mag 5	cielo moderatamente stellato
mag 5.5	cielo molto stellato
mag 6	cielo ampiamente stellato
mag 6.5	cielo eccezionalmente stellato

5.4 Degradamento della visibilità delle stelle

La mappa della perdita di magnitudine indica il decadimento della capacità di percepire le stelle da parte della popolazione. Si ottiene semplicemente facendo la differenza tra la mappa della visibilità stellare e una mappa della magnitudine limite ottenuta assumendo che l'inquinamento luminoso sia zero ovunque. A differenza della mappa della visibilità delle stelle, qui gli effetti dell'inquinamento luminoso sono chiaramente visibili anche nelle montagne. Però queste mappe sono meno utili per identificare i migliori siti osservativi.

Come prima, la perdita di magnitudine è stata calcolata per un campione di osservatori di esperienza media e capacità media, con età media di 40 anni, gli occhi adattati

al buio e che osservino con entrambi gli occhi. Il numero di stelle visibili si dimezza grossomodo ogni circa 0.6 magnitudini perse.

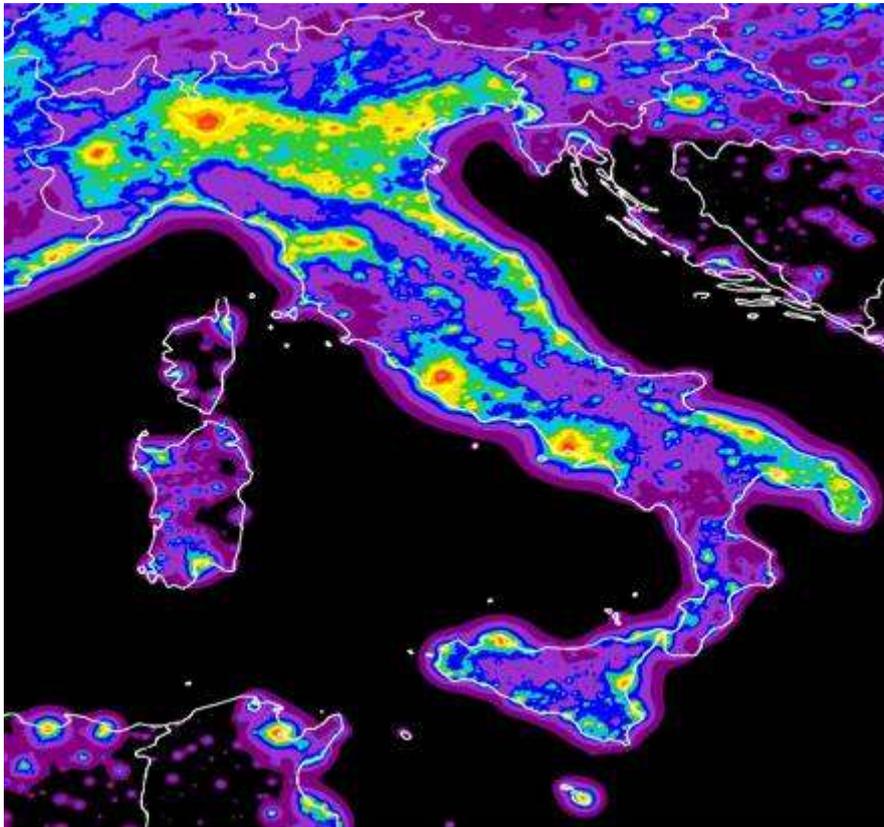


Figura 4. Degrado della visibilità delle stelle a occhio nudo.

I livelli corrispondono ad una perdita di magnitudine (in magnitudini V):

<0.1	nero
0.1-0.2	porpora
0.2-0.4	viola
0.4-0.6	blu
0.6-0.8	blu chiaro
0.8-1.0	verde
1.0-1.2	giallo-oro
1.2-1.4	giallo
1.4-1.6	arancio
1.6-1.8	rosso
1.8-2.0	rosa intenso
>2.0	rosa

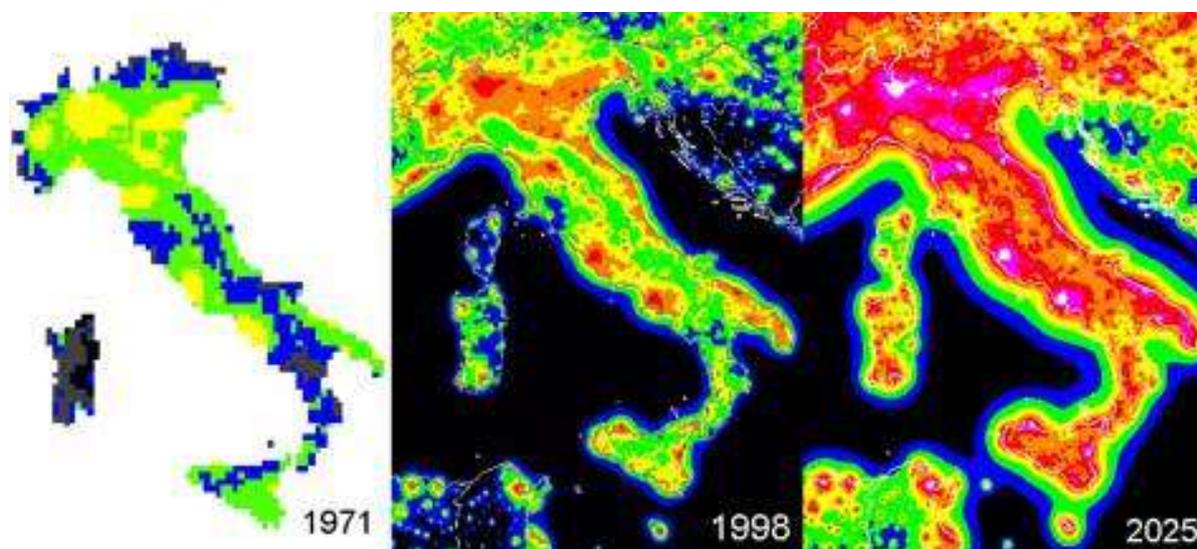
6. CRESCITA DELL'INQUINAMENTO LUMINOSO IN ITALIA

Un semplice confronto tra le mappe della brillantezza artificiale del cielo ottenute nel 1971 da Bertiau, Treanor and De Graeve (1973) con le analoghe mappe ottenute nel 1998 con lo stesso metodo ma in base alle immagini da satellite, indica una crescita media della brillantezza artificiale sul territorio nazionale di un fattore 7 nel periodo 1971-1998 (Falchi 1998; Falchi, Cinzano, Elvidge 2000). Questo è in accordo come ordine di grandezza con le misure di archivio raccolte da Cinzano (2000) che indicano un incremento esponenziale con un tasso annuo del 10% circa nella Pianura Veneta.

Per dare un'idea di come evolve la situazione, la figura mostra una mappa ottenuta con i dati di Bertiau, Treanor and De Graeve (1973) per il 1971 (sinistra), la nostra mappa a livello del mare per il 1998 (centro) e una mappa che esprime un possibile scenario dello stato del cielo nel 2025 nel caso che non venissero attuati provvedimenti sufficientemente efficaci per limitare l'inquinamento luminoso (destra). Essa è stata ottenuta banalmente assumendo nel periodo 1998-2025 lo stesso incremento medio che è stato registrato nei 27 anni precedenti. In realtà vi sono indicazioni che questa potrebbe essere una sottostima.

Secondo alcuni, ad esempio, alcune recenti variazioni introdotte nella normativa UNI10439 potrebbero favorire un incremento maggiore sia dei consumi di energia elettrica per illuminazione pubblica nei comuni che dell'inquinamento luminoso, almeno negli orari in cui non viene applicata alcuna riduzione di flusso.

Tuttavia la mappa **non** tiene conto degli effetti delle leggi contro l'inquinamento luminoso approvate recentemente in molte regioni italiane. Ci si aspetta che provvedimenti legislativi come la legge della Regione Lombardia n.17 del 27 marzo 2000 limitino efficacemente la brillantezza artificiale nelle relative regioni.



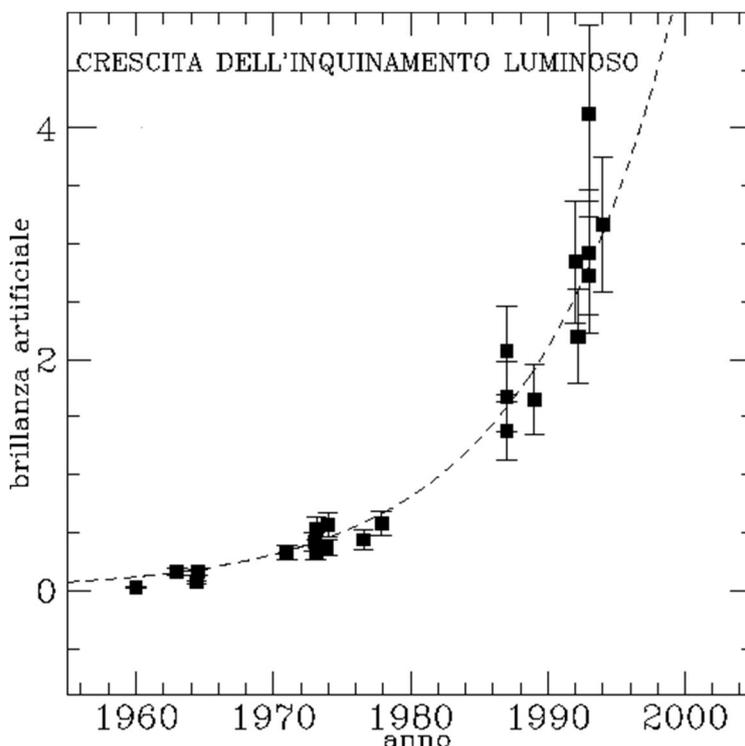
Crescita della brillantezza artificiale del cielo notturno.

I livelli della brillantezza artificiale sono espressi come frazione della brillantezza naturale di riferimento ($8.61 \cdot 10^7 \text{ ph cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ oppure $252 \mu\text{cd/m}^2$).

mappa 1971 (Bertiau et al.)		mappa 1998		mappa 2025	
<5%	nero	<11%	nero	<11%	nero
6-15%	grigio				
16-35%	blu	11-33%	blu	11-33%	blu
36-110%	verde	33-100%	verde	33-100%	verde
>1.1	giallo	1-3	giallo	1-3	giallo
		3-9	arancio	3-9	arancio
		>9	rosso	9-27	rosso
				27-81	violetto
				>81	bianco

Il colore arancio indica approssimativamente le zone dove la Via Lattea è molto difficile da vedere in notti limpide normali. La figura indica, quindi, che nel 2025 la Via Lattea potrebbe essere praticamente invisibile in Italia nelle zone a livello del mare dove vive la maggior parte della popolazione. Il Rosso, molto indicativamente corrisponde alle aree da cui si può vedere, dallo zenith fino a una trentina di gradi sopra l'orizzonte, poco più di un centinaio di stelle.

Il grafico seguente mostra la crescita dell'inquinamento luminoso nella Pianura Veneta tra il 1960 e il 1995:



Crescita della luminanza artificiale del cielo nella pianura veneta in unità relative determinata in base alle misure di archivio di brillantezza del cielo presso l'Osservatorio Astrofisico di Asiago e l'Osservatorio Astronomico dell'Ekar (Cinzano 1998)