



Ricerca di Sistema elettrico

L'atlante italiano dell'illuminamento naturale.
Produzione delle mappe d'illuminamento per
differenti orari d'uso degli ambienti e ampliamento
del sito *Solaritaly* dell'ENEA con la realizzazione d'una
nuova sezione dedicata ai dati dell'illuminamento
naturale

F. Spinelli, L. Terrinoni, M. Zinzi, D. Iatauro, P. Signoretti

L'ATLANTE ITALIANO DELL'ILLUMINAMENTO NATURALE. PRODUZIONE DELLE MAPPE D'ILLUMINAMENTO PER DIFFERENTI ORARI D'USO DEGLI AMBIENTI E AMPLIAMENTO DEL SITO *SOLARITALY* DELL'ENEA CON LA REALIZZAZIONE D'UNA NUOVA SEZIONE DEDICATA AI DATI DELL'ILLUMINAMENTO NATURALE

F. Spinelli, L. Terrinoni, M. Zinzi, D. Iatauro, P. Signoretti (ENEA)

Settembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2017

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: Studi sulla riqualificazione energetica del parco esistente di edifici pubblici mirata a conseguire il raggiungimento di edifici a energia quasi zero (NZEB)

Obiettivo: Ampliamento del sito www.solaritaly.enea.it con la realizzazione di una nuova sezione dedicata ai dati di illuminamento naturale (AMTIN) sul territorio nazionale

Responsabile del Progetto: ing. Domenico Iatauro

Indice

SOMMARIO / ABSTRACT	4
1 INTRODUZIONE	4
2 LA MAPPATURA DELL'ILLUMINAMENTO NATURALE IN ITALIA	7
3 L'AMPLIAMENTO DEL SITO <i>SOLARITALY</i> CON LE MAPPE ITALIANE DELL'ILLUMINAMENTO NATURALE	16
4 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	16
APPENDICE. MAPPE DELL'ILLUMINAMENTO NATURALE (MEDIO) IN ITALIA	19
A.1 MAPPE DELL'ILLUMINAMENTO NATURALE (MEDIO) ANNUO IN ITALIA	19
A.2 MAPPE DELL'ILLUMINAMENTO NATURALE (MEDIO) MENSILE IN ITALIA	24
A.2.a <i>Mappe mensili dell'illuminamento globale orizzontale per la fascia oraria 0÷24</i>	25
A.2.b <i>Mappe mensili dell'illuminamento globale orizzontale per la fascia oraria 8÷18</i>	38
A.2.c <i>Mappe mensili dell'illuminamento diffuso orizzontale per la fascia oraria 0÷24</i>	51
A.2.d <i>Mappe mensili dell'illuminamento diffuso orizzontale per la fascia oraria 8÷18</i>	64
SIGLE, ABBREVIAZIONI, GRANDEZZE, UNITÀ DI MISURA	77
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA / REFERENCES	77

Sommario / Abstract

Il fabbisogno finale di energia per l'illuminazione artificiale degli ambienti di edifici rappresenta una percentuale significativa degli usi elettrici e globali negli edifici, specialmente per quelli del settore non residenziale.

La norma EN 15193:2007 “*Energy Performance of Buildings. Energy Requirements for Lighting*” introduce procedure di calcolo e misura per edifici non residenziali. Alcuni studi condotti negli anni precedenti hanno evidenziato i limiti di entrambi i metodi di calcolo, *semplificato* e *dettagliato*, implementati nella norma, soprattutto per quanto riguarda l'assenza dei dati climatici riguardanti la potenzialità e la disponibilità di luce naturale nelle località in cui si trova l'edificio da valutare.

ENEA propone un metodo di calcolo *alternativo*, ancora in fase di sviluppo, che utilizza l'illuminamento diffuso esterno (*naturale*) sul piano orizzontale quale parametro climatico per stimare la disponibilità di luce diurna negli edifici e, conseguentemente, determinare i fabbisogni finali di energia elettrica per l'illuminazione artificiale.

Per permettere lo sviluppo e la formalizzazione del nuovo metodo che tenga conto dell'illuminamento esterno, è stato predisposto ed è in fase di attuazione un progetto articolato in più anni e avente come obiettivo finale la caratterizzazione completa della regione italiana sotto il profilo dell'illuminamento naturale, in maniera del tutto analoga a quanto già disponibile per la radiazione solare. In particolare, tale caratterizzazione dev'essere tale da rendere disponibili per qualunque località le curve di disponibilità orarie dell'illuminamento diffuso, affinché si possa stimare agevolmente il suo contributo all'illuminamento (confortevole) degli edifici.

Nella corrente annualità si è data attuazione alla fase del progetto che prevede la redazione delle mappe degli illuminamenti naturali globale e diffuso (orizzontali), per due differenti intervalli orari di utilizzazione degli ambienti *indoor* (0÷24 e 8÷18), sia in versione testuale (matrici numeriche) che grafica (immagini TIFF); e a pubblicarne una selezione sul sito Solaritaly (www.solaritaly.enea.it).

Abstract

Energy requirement for lighting represent a relevant share of the electricity and total energy uses in buildings, especially in the non residential sector.

The standard EN 15193:2007 “ Energy Performance of Buildings. Energy Requirements for Lighting” defines operational and asset methods to be applied in not residential buildings. Several studies carried out during the past years stressed the limits of the simplified and comprehensive calculation methods implemented in the standard, in particular for assessing the energy uses without taking into account the climatic data of the locality the building is located in.

An alternative method, proposed by ENEA and still under development, makes use the external horizontal diffuse illuminance as climatic parameter to estimate the daylight availability in buildings and, as a consequence, to derive the electricity uses for artificial lighting.

A research project is ongoing in order to define and develop a new climate based method for the evaluation of the outdoor lighting and to build an Italian database of daylight, as done for the solar irradiance. The database will allow to calculate for every Italian town the outdoor illuminance availability and then to derive the daylight contribution in the buildings.

In the work of current year, maps of natural illuminance, for global and diffused horizontal components have been developed, for two different time profiles (0 ÷ 24 and 8 ÷ 18). The daylight values will be available on the Solaritaly website (www.solaritaly.enea.it) in graphic form (TIFF images) and in numerical format (numerical matrices)

1 Introduzione

Il contesto

L'efficienza energetica negli edifici pubblici e, più in generale, nel settore edilizio è uno degli strumenti principali per il conseguimento degli obiettivi ambientali nazionali ed europei, come definiti nei principali documenti di indirizzo [1,2,3].

La direttiva europea dedicata all'efficienza e alle prestazioni energetiche degli edifici [4] evidenzia la necessità di intervenire su tutti i servizi energetici del manufatto edilizio e non solo sul servizio di climatizzazione invernale, come avvenuto nei decenni precedenti.

In questo contesto, assume rilevanza l'uso di energia elettrica dedicato al servizio d'illuminazione artificiale, soprattutto nel settore non residenziale. Diversi studi evidenziano l'impatto dell'illuminazione artificiale sul totale degli usi finali di energia nel settore terziario: 14% in EU, 26% negli USA [5,6]. Analisi costi-benefici dimostrano, inoltre, che il servizio è tra quelli con maggiori potenzialità, con riguardo all'efficienza, per applicazioni in nuovi edifici o nel caso di riqualificazioni energetiche [7].

È interessante notare che il tema del risparmio energetico conseguibile attraverso misure e interventi sul sistema d'illuminazione artificiale, pur ritenuto rilevante, è ancora ancorato alla riduzione della potenza elettrica installata, piuttosto che a un processo di prestazione energetica complessivo che coinvolga tutto il sistema edificio-impianto in termini d'illuminazione naturale e artificiale [8].

Ad oggi un approccio del secondo tipo può essere seguito attraverso l'applicazione della norma tecnica europea EN 15193:2007 "*Energy Performance of Buildings. Energy Requirements for Lighting*" [9], recepita come norma tecnica nazionale (UNI) nel 2008 e attualmente in fase di sostanziale revisione. La norma definisce le procedure per determinare la prestazione energetica del servizio d'illuminazione artificiale per misura o per calcolo, introducendo nel secondo caso un metodo semplificato e uno dettagliato.

In anni recenti, in realtà, studi condotti (anche) dall'ENEA [10] hanno evidenziato alcuni limiti intrinseci nel metodo di calcolo proposto dalla norma e pertanto la necessità di revisionare la norma. E' evidente infatti che le potenzialità di risparmio energetico possono essere efficacemente conseguite solo in presenza di strumenti in grado di prevedere con sufficiente accuratezza le prestazioni del sistema edificio-impianto, soprattutto nella declinazione *nZEB*¹ dei requisiti energetici degli edifici adottata in Europa e nei singoli Stati Membri.

L'obiettivo ENEA

Per mettere a punto un metodo più accurato del calcolo del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale, che permetta di revisionare della norma EN 15193:2007, nonché fornisca al Ministero dello Sviluppo Economico uno strumento per individuare limiti e requisiti per il Servizio energetico, l'ENEA ha inserito nell'Area "*Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici*" della Ricerca di Sistema Elettrico 2015-2017, anche la Linea "*Metodi per la verifica della disponibilità di luce naturale e per la stima dei requisiti energetici per illuminazione naturale in edifici nZEB*".

Infatti uno dei limiti più evidenti della norma attuale sta nel fatto che per valutare la disponibilità di luce naturale per una data località si ricorra alla latitudine quale *unico* parametro caratteristico delle condizioni

¹ *Nearly Zero Energy Buildings*: edifici a consumo energetico quasi nullo

geografiche e climatiche. Il metodo alternativo concepito dall'ENEA — una sua versione preliminare è già sviluppata in [10,11] — si basa su una più accurata caratterizzazione climatica del sito in quanto utilizza quale parametro di riferimento l'illuminamento diffuso esterno sul piano orizzontale. Tale metodo è ancora in fase di sviluppo e prevede la conoscenza dei dati d'illuminamento (globale e/o diffuso) per valutare se e quando la luce naturale è sufficiente a garantire il compito visivo assegnato in un ambiente in funzione delle caratteristiche e dell'uso dello stesso o, in caso contrario, è necessario attivare l'impianto d'illuminazione artificiale con un conseguente fabbisogno di energia elettrica.

Va ricordato però che, a differenza di quanto succede per i dati di radiazione solare, non esistono database significativi di illuminamento misurati a terra, mentre un solo database con dati rilevati da osservazioni satellitari è ad oggi disponibile [12]; quest'ultimo è stato sviluppato nell'ambito di un progetto internazionale ed è basato su un periodo temporale di osservazione limitato.

Le precedenti annualità

Nelle precedenti annualità della *Ricerca di Sistema Elettrico* (RdSE) sono stati sviluppati, in fase ovviamente ridotta, database illuminotecnici, grazie a *modelli di efficacia luminosa* che prevedono la conversione dei dati d'irradiazione solare in dati d'illuminamento [13]. I modelli utilizzati sono stati reperiti in letteratura, scegliendoli fra i più autorevoli. Applicando tali modelli ai dati estratti dalle mappe georeferenziate d'irradiazione solare, derivate da fonte satellitare, è stato possibile costruire database d'illuminamento per tre città di riferimento (Milano, Roma, Palermo). Ulteriori analisi hanno poi consentito di determinare l'impatto che i singoli modelli di efficacia luminosa, generando database illuminotecnici differenti, hanno sulle prestazioni energetiche di edifici per uffici relativamente al servizio di illuminazione, per le tre località di riferimento [14].

Un ulteriore avanzamento del lavoro ha permesso d'individuare il modello di efficacia luminosa più confacente alla regione italiana [15, 16]. In precedenza, infatti, tutti i modelli di efficacia luminosa disponibili in letteratura erano stati messi a punto da autori stranieri che hanno utilizzato dati di misura raccolti presso località estere; la disponibilità ora dei nuovi dati di illuminamento orizzontale globale e diffuso misurati al suolo presso siti nazionali ha permesso d'individuare nella formulazione di Robledo & Soler [17,18,19], fra quelle già disponibili in letteratura, il modello più aderente alla geografia italiana; e finalmente di mettere a punto un nuovo modello ENEA che utilizza: a) la formulazione di Robledo & Soler per quando riguarda l'illuminamento diffuso – in cui però i parametri sono stati ricalcolati sulla scorta delle misure da noi effettuate nei siti nazionali – e b) sostituendo la formula per l'illuminamento diretto di con un'altra concepita invece *ex novo* per l'illuminamento globale.

Il passo successivo è consistito nel caratterizzare in maniera sufficientemente capillare l'intero territorio nazionale. Ciò è stato ottenuto con la redazione dell'*Anno Meteorologico tipico per l'illuminamento naturale* (AMTIN) per 242 località italiane, alle quali è stata aggiunta anche la città di San Marino. Da ciascun AMTIN sono state estratti tabelle e grafici che rappresentano le curve di disponibilità (numero di ore) dell'illuminamento naturale in funzione dell'illuminamento indoor richiesto [21].

La corrente annualità

La corrente annualità è stata dedicata alla produzione di mappe dell'illuminamento naturale per la regione italiana, pensate come strumento geografico complementare a quello degli anni tipo: questi infatti descrivono il territorio in maniera puntuale (ovvero “per punti”: le singole località); quelle lo mostrano invece in

maniera continua, permettendo di apprezzare l'andamento spaziale (più correttamente: *superficiale*) del parametro studiato. Il lavoro è stato quindi completato con un primo ampliamento del sito Internet gestito dall'ENEA: *Solaritaly – Atlante italiano della radiazione solare*, il quale è stato arricchito di una nuova sezione che accoglie le prime e più significative mappe sull'illuminamento naturale. L'intera attività annuale è descritta nei capitoli che seguono.

2 La mappatura dell'illuminamento naturale in Italia

Il database già disponibile degli AMTIN per 243 località italiane costituisce uno strumento *geografico* adeguato per ogni studio di riqualificazione energetica del parco degli edifici esistenti, che tenga conto dell'apporto dell'illuminamento naturale. Va aggiunto però che una delle finalità del progetto consiste nel rendere facilmente fruibile i dati e le procedure all'utenza tecnica nazionale, in modo che essa possa avvalersene nel proprio lavoro di analisi e/o di progetto; e perché ciò sia possibile, dati e procedure devono essere disponibili per qualunque località dove esistano o s'intende costruire edifici residenziali. Per conseguire tale scopo, le mappe georeferenziate sono indispensabili.

Ogni immagine digitale è essenzialmente un insieme di *pixel* disposti regolarmente per righe e colonne². Ogni pixel è individuato in modo univoco dalla sua posizione (riga, colonna) all'interno dell'immagine e contiene la trascrizione (in linguaggio informatico: memorizza) un valore numerico della grandezza che si vuole rappresentare, espresso in una unità prefissata (nel nostro caso, trattandosi di un illuminamento, l'unità è il lux, simbolo SI: lx). Se l'immagine contiene i valori di una grandezza relativi a una porzione della superficie terrestre, ogni pixel corrisponderà a un punto geografico, e l'immagine stessa verrà qui designata preferibilmente con il nome di mappa (geografica). Una mappa geografica sarà davvero utile se è anche georeferenziata, ossia se è nota con precisione la corrispondenza fra la posizione (riga, colonna) di ogni pixel nella mappa e il corrispondente punto geografico definito attraverso le sue coordinate (latitudine, longitudine).

La georeferenziazione esplicita dunque la corrispondenza esistente fra coordinate e pixel; di modo che, stabilita la località d'interesse – qualunque essa sia, ospitante l'edificio da studiare, e non necessariamente una di quelle già presenti nella base-dati degli anni-tipo — e determinate le sue coordinate geografiche, è possibile risalire al pixel della mappa in cui il dato d'illuminamento è registrato, e così estrarlo. In realtà il processo di estrazione è leggermente più complicato perché non sempre a un'assegnata coppia di coordinate (latitudine, longitudine) corrisponde esattamente un pixel in mappa, però la complicazione è solo computazionale comportando qualche passaggio in più nei calcoli.

Una mappa geografica che voglia rappresentare l'andamento di una grandezza sul territorio viene costruita assegnando ad ogni pixel il valore (della grandezza) che gli compete in base alle coordinate geografiche corrispondenti. Però nella realtà accade quasi sempre che siano noti i valori per un insieme limitato di località, che corrisponde a una frazione più o meno piccola della totalità dei pixel; e non è nemmeno detto che esse si dispongano uniformemente sul reticolo dell'immagine da formare né che coincidano sempre esattamente con le intersezioni delle righe con le colonne. Cionondimeno, è quasi sempre possibile costruire una mappa

² L'oggetto matematico che modella l'immagine è la matrice numerica 2D (o bidimensionale), in cui gli elementi risultanti dall'intersezione delle righe con le colonne corrispondono biunivocamente ai pixel dell'immagine stessa.

georeferenziata che ne riproduca con plausibilità l'andamento continuo spaziale, in quanto esistono numerose metodologie d'interpolazione geografica per "popolare" comunque tutti i pixel dell'immagine a partire da quelli noti. Comprensibilmente, qualunque metodo interpolante sarà tanto più efficace quanto più numerosi saranno i dati di partenza e più uniforme essi si disporranno all'interno della matrice dei pixel. Ciascuno metodo d'interpolazione si distingue per complessità algoritmica e si caratterizza per uno o più ambiti in cui è maggiormente indicato. Per questo lavoro è stato adottato il metodo dei valori pesati con l'inverso della distanza (*Inverse Distance Weight*, IDW) che è di facile implementazione e allo stesso tempo si presta bene a modellare l'andamento spazialmente regolare dell'illuminamento naturale.

La georeferenziazione di una mappa geografica stabilisce automaticamente anche la *risoluzione spaziale*, ovvero quanta porzione di territorio è rappresentata da ciascun pixel, così come la scala di una carta geografica determina il dettaglio con cui degli elementi fisici (orografia, rete stradale ecc.) vengono rappresentati sul supporto cartaceo. Banalmente, la risoluzione lineare in (direzione) orizzontale si calcola stabilendo la differenza di longitudine fra due pixel adiacenti e disposti su di una stessa riga, e traducendo tale differenza in termini metrici. Analogamente, la risoluzione lineare in verticale si calcolerà con le latitudini di due pixel adiacenti lungo una stessa colonna. E' ovvio che a causa della deformazione ineliminabile indotta dallo schiacciamento della forma ellissoidica della Terra sulla superficie piana della rappresentazione, la risoluzione può non essere costante per tutti i pixel della mappa: si parlerà allora di risoluzione media. Riguardo alla georeferenziazione e alla conseguente risoluzione spaziale, le mappe prodotte per l'illuminamento naturale sono di due tipi:

- a) **mappe "isometriche"**. Per questo tipo è stata adottata la proiezione WGS84-UTM, con l'intero territorio nazionale rappresentato in un unico fuso (*Fuso Italia*)³. Questa proiezione mantiene pressoché costante il rapporto di scala fra gli elementi lineari sul suolo e la loro rappresentazione in mappa. Nelle mappe dell'illuminamento naturale è stata scelta una risoluzione lineare pari a 1 pixel per km, pertanto il dato memorizzato in un pixel è rappresentativo di un quadratino di territorio pari a 1 km²;
- b) **mappe "isoLL"**. In questo secondo tipo, ogni riga contiene punti geografici di uguale longitudine, mentre ogni colonna è caratterizzata da una stessa latitudine. La risoluzione lineare orizzontale scelta è uguale a 1 pixel per 45 secondi di grado di longitudine, che in termini metrici corrisponde a circa 1.02 km al Nord (alla latitudine della Vetta d'Italia), 1.38 km al Centro (latitudine di Roma) e 1.50 km al Sud (latitudine di Lampedusa). Riguardo invece alla direzione verticale, la risoluzione lineare adottata è pari a 1 pixel ogni 30 secondi di grado di latitudine, corrispondente in termini metrici al valore di 1.39 km, uguale per qualunque longitudine. Come risultato, il dato memorizzato in un pixel è rappresentativo di una porzione di territorio di area che va da 1.42 km² all'estremo Nord fino a 2.06 km² all'estremo Sud della regione italiana⁴.

³ Sistema di riferimento geografico World World Geodetic System versione 1984 (WGS84) e proiezione cartografica Universale trasversa di Mercatore (UTM). In questa proiezione, l'Italia ricade nei tre fusi 32, 33 e 34. Questa circostanza comporta una discontinuità nella rappresentazione delle strisce verticali di territorio in prossimità del confine fra un fuso e l'altro. Il *Fuso Italia*, descritto in [22], è stato studiato appositamente per ovviare a questo inconveniente e poter rappresentare l'intera area geografica italiana in un unico fuso, con meridiano centrale di longitudine 12° Est rispetto a Greenwich.

⁴ 1.42 discende dal prodotto 1.02 x 1.39; invece 2.06 è uguale a 1.50 x 1.39.

L'adozione di due proiezioni geografiche risponde a esigenze distinte. Mappe in proiezione isometrica si prestano bene per la restituzione a schermo o la riproduzione su supporto cartaceo perché il rispetto dei rapporti lineari fa sì che la rappresentazione riproduca su piano, quasi fedelmente, le corrispondenze dimensionali reali in tutte le zone della mappa. Il formato digitale qui utilizzato per le mappe isometriche è il *Tagged Image File Format* (TIFF, di norma recante l'estensione *.tif*). Per converso, nella proiezione UTM adottata per le immagini TIFF non è immediato risalire dalla posizione del pixel alle sue coordinate geografiche (e viceversa) in quanto la legge di georeferenziazione è abbastanza complessa. Al contrario, nella proiezione isoLL le regole di trasformazione coordinate/pixel sono oltremodo semplici — il numero di riga dipende solo dalla latitudine, e in maniera lineare; mentre il numero di colonna solo dalla longitudine, anche in questo caso linearmente — e questa circostanza rende molto agevoli i procedimenti di memorizzazione ed estrazione dei dati. Per questo motivo, come si è detto sopra, le mappe sono state prodotte anche in formato digitale *testo* e proiezione isoLL, in modo che i dati siano facilmente estraibili e "importabili" nei programmi di calcolo e/o di simulazione. Il vantaggio computazionale si paga però altrimenti: va notato infatti che nella proiezione isoLL i paralleli geografici sono rappresentati con linee orizzontali parallele (le righe) e i meridiani con linee verticali parallele (le colonne), mentre in realtà questi ultimi sulla superficie terrestre si avvicinano progressivamente man mano che si passa dalle latitudini più piccole a quelle più grandi. L'effetto visivo è che le fasce poste a latitudini elevate (nelle mappe italiane: quelle corrispondenti alle regioni settentrionali) sembrano innaturalmente dilatate e "stirate" verso i lati sinistro e destro.

In termini geografici, una mappa sarà caratterizzata non solo dalla georeferenziazione adottata ma anche dalla scelta della porzione di superficie della Terra che rappresenta. Per quanto riguarda il secondo aspetto, le mappe dell'illuminamento naturale qui prodotte rappresentano un territorio che in termini metrici è approssimabile a un trapezio di altezza pari a circa 1400 km (da poco più a Sud di Lampedusa a poco più a Nord della Vetta d'Italia) e larghezza media di 1100 km (dal mar di Sardegna all'Albania). Riguardo alle dimensioni digitali, si ha:

- a) per le mappe isometriche: 1380 righe per 1060 colonne;
- b) per le mappe isoLL: 977 righe per 766 colonne. Qui l'intervallo delle latitudini va da 47°24' (prima riga in alto) a 35°12' Nord (ultima riga in basso), mentre quello delle longitudini ha per estremi 6°16' (prima colonna a sinistra) e 19°00' Est rispetto a Greenwich (ultima colonna a destra).

Le mappe riportano i **dodici valori medi mensili e quello medio annuo dell'illuminamento naturale**. Il dato di partenza per la produzione delle mappe è costituito dai valori estratti dalle immagini METEOSAT di copertura nuvolosa in corrispondenza dei centroidi di 8094 comuni italiani⁵. La frequenza temporale delle immagini di partenza, disponibili per tutti gli anni dal 2006 al 2016, è di una ogni quarto d'ora. Per ciascun centroide, la serie pluriennale dei dati estratti è stata sottoposta a due ordini di elaborazione: **1)** il 'collasso' temporale dal quarto d'ora a (via via) orario, giornaliero, mensile e infine medio mensile pluriennale; e **2)** la traduzione dell'indice di copertura nuvolosa nell'irradianza solare e quindi nell'illuminamento naturale,

⁵ È quello risultante a dicembre 2011. In realtà il numero dei comuni italiani a tale data è pari a 8092; a questi sono stati aggiunti il baricentro di Mestre, che costituisce la controparte sulla terraferma del comune di Venezia, e il centroide di San Marino che, pur non essendo territorio italiano, è interamente circondato da questo. Dopo il 2011 il numero dei comuni italiani è considerevolmente diminuito in conseguenza della soppressione e aggregazione di molti di essi. A marzo 2018 risultano 7954 (fonte: ISTAT).

secondo modelli in parte mutuati dalla letteratura e in parte messi a punto in ENEA nel corso delle precedenti annualità [13,14,15,16].

Le immagini medie mensili sono state ottenute assegnando i valori noti degli 8094 centroidi alle rispettive posizioni (celle, o *pixel*) risultanti in base all'algoritmo di georeferenziazione e calcolando per interpolazione geografica i valori dei restanti pixel che costituiscono la matrice regolare della mappa. Ovviamente i valori dei pixel ricostruiti sono calcolati a partire da quelli vicini e noti, pesati opportunamente in base alla loro distanza. Come si è già detto, fra i numerosi metodi d'interpolazione disponibili, che differiscono per finalità e facilità d'uso, è stato adottato il metodo dei valori pesati con l'inverso della distanza, che descrive abbastanza fedelmente l'andamento spaziale regolare e senza asperità del fenomeno luminoso. Per quanto riguarda la scala cartografica digitale, la scelta di una risoluzione lineare pari a poco più di 1 km per pixel è confrontabile con quella delle immagini METEOSAT di copertura nuvolosa, che come già detto sono alla base dell'intera catena di calcolo: una risoluzione più spinta avrebbe introdotto un dettaglio maggiore ma fittizio, mentre una risoluzione più lasca avrebbe comportato una perdita significativa dell'informazione spaziale rispetto ai dati di partenza.

Per avere un'un'idea della densità degli 8094 centroidi noti rispetto alla totalità dei pixel interpolati, si calcoli che la superficie media dei comuni italiani è di poco meno di 40 km² (con enorme disparità fra una zona e l'altra dell'Italia⁶). A questo dato corrisponde una distanza media fra due centroidi contigui di circa 6.98 km — è questo il raggio di un'area circolare di 40 km² — che, in base alla risoluzione scelta per le nostre mappe, equivale a circa 7 pixel. Tenendo conto della gradualità dell'andamento dell'illuminamento naturale al suolo, la disposizione spaziale dei centroidi appare più che sufficiente. Fin qui non si è accennato alle zone esterne all'Italia (mari e stati esteri limitrofi). Per tener conto anche di queste e affinché le zone di confine siano interpolate correttamente, il processo di estrazione dei valori dalle immagini di copertura nuvolosa è stato esteso anche a 719 nuovi punti geografici scelti con passo regolare: nel mar Tirreno, mar Ionio e Mar Adriatico, sulla penisola Balcanica prospiciente il Mar Adriatico e, infine, sulla fascia europea al di là delle Alpi. Per questi territori extrapeninsulari la densità dei pixel noti risulta ovviamente inferiore, ma la totalità degli 8094+719 punti geografici garantisce che l'illuminamento luminoso sia rappresentato in tutte le zone delle nostre mappe in maniera soddisfacentemente fedele.

Riguardo al modello di stima dell'illuminamento naturale a partire dall'irradianza solare, le 13 mappe (12 mensili + 1 annua) sono state redatte ricorrendo al nuovo modello ENEA che si basa sulle misure pluriennali appositamente effettuate nell'ambito di questo progetto della RdS [15, 17, 18, 19].

In base alla grandezza rappresentata, ciascuna delle 13 mappe (12 mensili + 1 annua) è stata duplicata per poter rappresentare le due grandezze dell'illuminamento naturale che sono essenziali nella valutazione del fabbisogno indoor: l'illuminamento globale e quello diffuso (entrambi riferiti alla giacitura orizzontale).

Ciascuna serie di mappe è stata poi nuovamente duplicata in conseguenza dell'applicazione di un ulteriore criterio, ossia quello che tiene conto delle fasce d'uso orarie, per il quale sono state previste 2 versioni: per l'intero arco giornaliero di 24 ore e per l'intervallo 8:00 ÷ 18:00 (tipico degli uffici).

⁶ Il comune più esteso è quello della capitale: 1287.36 km²; quello più piccolino è Atrani (SA), di soli 0.12 km² (ovvero 12.86 ettari: un fazzoletto di territorio di lato pari 347 metri, se fosse interamente in piano).

Giova osservare esplicitamente che gli illuminamenti riferiti all'intero giorno, ovvero all'intervallo 0÷24, sono sempre inferiori ai corrispondenti riferiti all'intervallo 8÷18, sebbene la durata di quest'ultimo sia più breve. Si ha infatti che l'illuminamento è a rigore una grandezza fisica *intensiva* – in buona sostanza: una (densità di) potenza – e di conseguenza va sempre riferito a *specifici istanti*. Quando invece si considerano intervalli finiti, siano essi orari, giornalieri o relativi a qualsivoglia altra durata, quale quella dalle 8:00 alle 18:00 corrispondente grosso modo alla presenza delle persone negli uffici, è pertinente fornire i valori *medi*, calcolati a partire da quelli istantanei con la formula:

$$\bar{E}(\Delta t) = \frac{\int_{\Delta t} E(t) dt}{\Delta t} \quad (1)$$

in cui $E(t)$ è l'illuminamento istantaneo (globale, diffuso ecc.), Δt è appunto l'intervallo temporale prescelto e infine $\bar{E}(\Delta t)$ è l'illuminamento medio riferito a tale intervallo. Accade allora che, ad esempio, per un dato giorno e località, l'illuminamento medio per l'intera giornata ($\Delta t = 0 \div 24$) sia sempre inferiore all'illuminamento medio relativo alla fascia oraria: $\Delta t = 8 \div 18$:

$$\bar{E}(0 \div 24) < \bar{E}(8 \div 18)$$

Ciò perché nel secondo caso si considerano solo le ore centrali dell'intero giorno, ossia quelle diurne, in cui l'insolazione (e di conseguenza l'illuminamento naturale) è più elevato. Invece le ore notturne, per le quali l'illuminamento è banalmente nullo, essendo considerate anch'esse nell'intervallo 0÷24 al pari di quelle diurne, abbassano considerevolmente la media di quest'ultimo. È superfluo aggiungere che, al contrario, il confronto fra valori delle quantità "integrate" ⁷: $E(\Delta t) = \int_{\Delta t} E(t) dt$ dà sempre esito invertito rispetto ai corrispondenti valori medi:

$$E(0 \div 24) > E(8 \div 18)$$

in quanto il primo intervallo d'integrazione (0÷24) contiene interamente il secondo (8÷18) e inoltre la funzione integranda $E(t)$ nella (1) è sempre non negativa.

In definitiva il numero delle mappe approntate ammonta a 52: (12 mensili +1 annua) x 2 (illuminamenti) x 2 (fasce orarie). Precisamente:

- 1 mappa **annua** dell'illuminamento naturale **globale** orizzontale, relativo alla fascia oraria **0÷24**;
- 1 mappa **annua** dell'illuminamento naturale **diffuso** orizzontale, relativo alla fascia oraria **0÷24**;
- 1 mappa **annua** dell'illuminamento naturale **globale** orizzontale, relativo alla fascia oraria **8÷18**;
- 1 mappa **annua** dell'illuminamento naturale **diffuso** orizzontale, relativo alla fascia oraria **8÷18**;
- 12 mappe **mensili** dell'illuminamento naturale **globale** orizzontale, relativo alla fascia oraria **0÷24**;

⁷ La quantità $E(\Delta t)$, ottenendosi per integrazione del prodotto $E dt$, si esprimerà in *lux secondi* (lux moltiplicato per il secondo: $lx s$) o nelle seguenti unità numericamente più pratiche: lux ore (lxh), chilolux ore ($klxh$) e megalux ore ($MLxh$)

- 12 mappe **mensili** dell'illuminamento naturale **diffuso** orizzontale, relativo alla fascia oraria **0÷24**;
- 12 mappe **mensili** dell'illuminamento naturale **globale** orizzontale, relativo alla fascia oraria **8÷18**;
- 12 mappe **mensili** dell'illuminamento naturale **diffuso** orizzontale, relativo alla fascia oraria **8÷18**.

Quanto detto sin qui attiene al contenuto informativo. In realtà le mappe redatte sono state in numero doppio, ossia 104 in totale, in quanto ciascuna è stata duplicata in base al formato di archiviazione digitale: uno, numerico (testo) e l'altro grafico (TIFF). Come si è già detto, i due formati hanno utilizzi differenti: il primo salva fedelmente il dato di ciascun pixel, in modo che il valore esatto possa essere successivamente estratto per tutte le finalità di calcolo, mentre il secondo (ossia il TIFF) serve essenzialmente per la visualizzazione a schermo o per la stampa.

La confezione delle mappe in un formato grafico – TIFF o altro simile – richiede che venga preventivamente stabilita la *palette* (tavolozza dei colori) mediante la quale, pixel per pixel, tradurre in differenti colori i valori numerici dell'illuminamento. Per esemplificare, in figura 1 è mostrata la carta d'Italia dell'illuminamento naturale globale orizzontale medio annuo, riferito alla fascia oraria 8:00 ÷ 18:00. In questa mappa, per visualizzare i valori dell'illuminamento, è stata preferita a mo' di esempio una palette costituita da 26 livelli di colore. I colori sono stati scelti in modo che quelli *freddi* (violetto cupo, blu, celeste e così via) corrispondano ai valori bassi d'illuminamento, quelli *caldi* (giallo, arancione, rosso) ai valori alti, passando attraverso le tonalità di verde dei valori intermedi.

La scelta del numero di livelli – in questo caso: 26 – è arbitraria, però un numero troppo basso ridurrebbe in misura inaccettabile il contenuto informativo della mappa – l'intervallo continuo dei valori d'illuminamento presenti verrebbe discretizzato in pochi livelli – mentre un numero troppo grande renderebbe faticoso per l'occhio umano lo sforzo di determinare i valori d'illuminamento associati alle zone della mappa contigue e colorate con tinte poco dissimili. Come criterio empirico, un numero di tonalità fra 20 e 40 è solitamente un buon compromesso fra le due opposte esigenze.

ITALIA

Carta dell'illuminamento naturale *globale orizzontale*

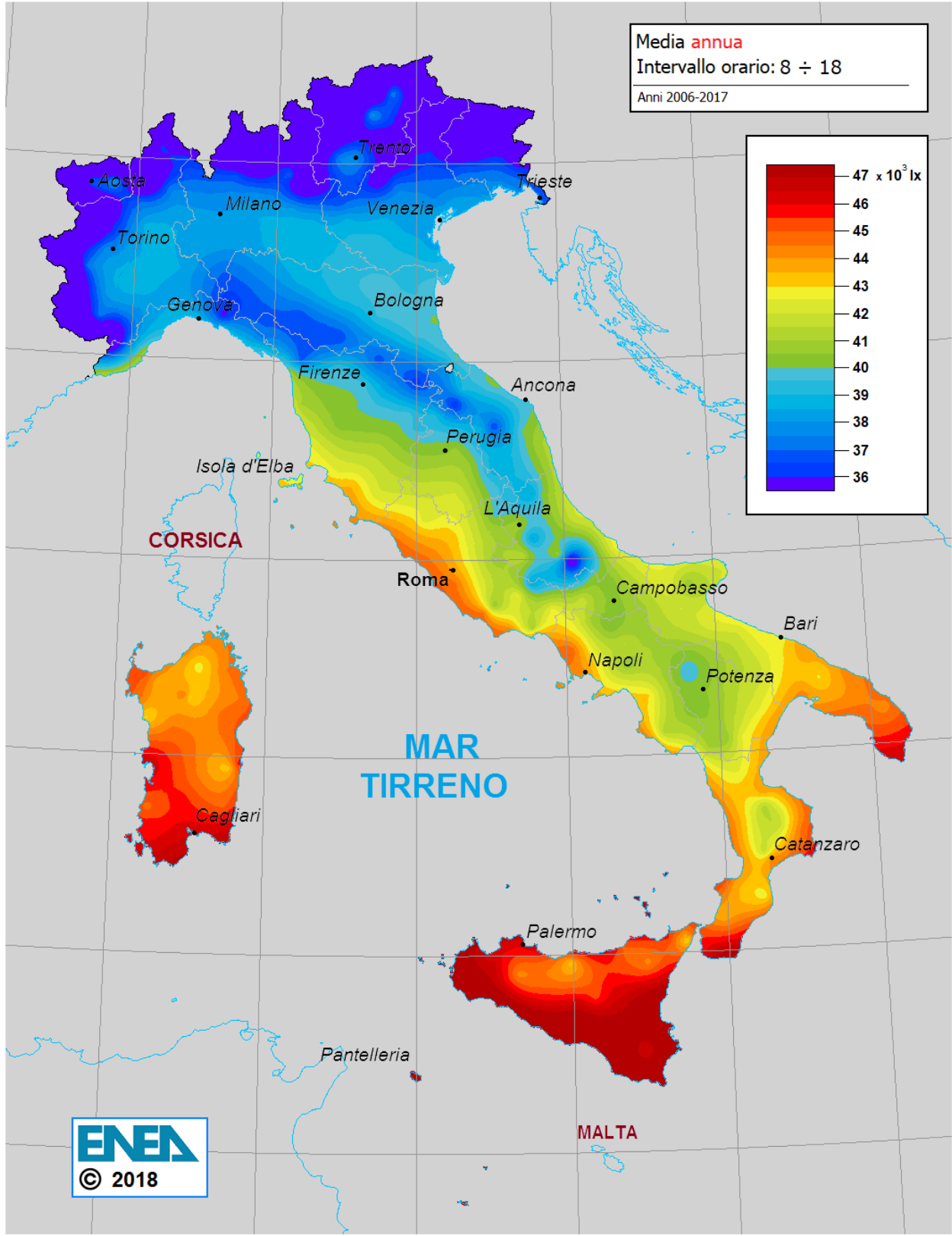


Figura 1. Carta d'Italia - illuminamento naturale globale orizzontale. Media annua, fascia oraria 8÷18.

Una palette viene determinata scegliendo **a)** il numero dei livelli di colore, **b)** le diverse tonalità da associare a ciascun livello e, infine, **c)** i range dei valori d'illuminamento da far corrispondere a ciascun livello. È intuitivo che per sfruttare tutti i livelli previsti, occorre determinare prima l'ampiezza dell'intero insieme di valori d'illuminamento presenti nella mappa⁸, poi suddividere questo in tanti intervalli di ampiezza uguale, quanti sono i livelli di colore, e infine associare uno a uno gli intervalli di valori ai livelli di colore. In realtà, per effetto della dispersione ai due estremi dell'intervallo dei valori presenti, può accadere che il primo e/o l'ultimo dei livelli possano essere scarsamente popolati e di conseguenza pochi pixel della mappa vi risulterebbero associati. Per ovviare a questo inconveniente e cercare di riempire quanto più uniformemente possibile anche il primo e l'ultimo dei livelli prestabiliti, un criterio pratico è il seguente: detto N è il numero prefissato di livelli, si calcolano i percentili $\left(\frac{100}{N}\right)$ esimo e $\left(100 - \frac{100}{N}\right)$ esimo dell'insieme (ordinato) di tutti i valori dei pixel presenti nella mappa – percentili che qui indichiamo rispettivamente con I_1 e I_2 – e suddividiamo l'ampiezza $(I_2 - I_1)$ in $(N - 2)$ intervalli uguali attribuendoli ai livelli numerati da 2 a $N - 1$; infine, a completamento, tutti i valori della mappa inferiori a I_1 sono attribuiti al 1° livello, mentre tutti quelli maggiori di I_2 all' N ° livello. Così, Nell'esempio di figura 1, i livelli sono 26 mentre i valori d'illuminamento presenti nella mappa (del solo territorio italiano) e corrispondenti al 4° e al 96° percentile⁹ sono rispettivamente 12000 e 24000 lx . I 24 intervalli fra questi due estremi risulteranno perciò di ampiezza pari a 500 lx . A completare, il 4° (circa) dei valori d'illuminamento presenti nella mappa e inferiori a 12000 lx saranno attribuiti al 1° livello mentre l'altro 4° (circa) dei valori superiori a 24000 lx al 26° livello. Ovviamente i numeri 4°, 96°, 12000 lx e 24000 lx sono arrotondati; non è importante che corrispondano esattamente alle formule prima mostrate, ma anzi la terna:

$$(12000 \text{ } lx, 24000 \text{ } lx, 26 \text{ livelli})$$

è stata determinata per approssimazioni successive al fine di ottenere una leggenda facilmente intellegibile. Una palette così scelta permette di visualizzare nel modo migliore il contenuto informativo della mappa: tutti i livelli di colore sono sfruttati e attraverso le diverse tonalità dei livelli si può apprezzare la distribuzione geografica del *campo* della grandezza rappresentata.

La procedura appena descritta è quella *ottima* nel caso in cui si debba realizzare una sola mappa. Se al contrario le mappe sono più di una, occorre decidere se adottare un'unica palette valida per tutte oppure, all'opposto, tante palette quante sono le immagini, ognuna calibrata sui valori effettivamente presenti in ciascuna di esse. Nel primo caso si agevola il confronto degli andamenti e dei valori dell'illuminamento fra mappe diverse, come quando per esempio si voglia apprezzare le differenze stagionali mediante 12 mappe

⁸ Più precisamente, in tutte le carte mostrate in questo rapporto sono rappresentati i valori d'illuminamento del solo territorio italiano, e omessi quelli relativi ai mari e agli stati confinanti con l'Italia. Ciò riduce l'ampiezza dell'intervallo degli illuminamenti da rappresentare e di conseguenza aumentano i dettagli rappresentabili a parità di numero di livelli di colore utilizzati.

⁹ Il valore 4° risulta all'incirca dal calcolo di $(100/26)^\circ$ e il valore 96° da $(100-100/26)^\circ$.

mensili. Ma così facendo potrà accadere che singole mappe non sfruttino l'intero spettro dei colori disponibili nella palette. L'opposto si avrà nel caso si adottino legende personalizzate per ogni mappa: verrebbero apprezzati finemente gli andamenti all'interno di ciascuna mappa, ma non le differenze fra mappe diverse, se non controllando con attenzione le rispettive legende. La scelta appropriata di una o più palette si pone a ragione per le mappe presentate in questo rapporto che, come si è già detto, sono in numero 52 – si sta prescindendo dal doppio formato testo/grafico, che ne moltiplica il numero per due – e tutte ugualmente indicative in quanto nel loro insieme esplorano in modo esaustivo le diverse sfaccettature del fenomeno dell'illuminamento naturale in Italia.

Consideriamo per ora i soli dati (medi) mensili. Essi mostrano uno spettro di valori che si estende da un minimo di 2815 lx (irraggiamento diffuso, nel mese di dicembre, per la fascia oraria 0÷24, in Valle d'Aosta e Alto Adige) a un massimo di 73350 lx (irraggiamento globale, luglio, 8÷18, Sicilia). Volendo utilizzare una stessa palette per tutte le mappe delle medie mensili, sulla base dei criteri di scelta sopra descritti è parso appropriato suddividere l'intervallo 4000÷72000 lx in 34 livelli di ampiezza pari a 2000 lx ciascuno, e completare la palette con l'aggiunta di 2 ulteriori livelli agli estremi, uno per etichettare tutti gli illuminamenti inferiori a 4000 lx e l'altro tutti quelli superiori a 72000 lx . Come già ribadito, con la scelta di una sola palette si consegue il risultato di poter effettuare in maniera immediata i confronti fra i diversi tipi e le diverse situazioni d'illuminamento e per qualunque mese dell'anno. Per converso, si paga lo scotto costituito dal fatto che in molte mappe la gamma cromatica utilizzata risulta ridotta in quanto è sufficiente un piccolo numero di livelli per rappresentare la distribuzione geografica dei valori presenti. Così, a titolo di esempio, si constata che per la mappa dell'illuminamento diffuso di dicembre, relativo alla fascia oraria 0÷24, che presenta un'escursione già di per sé limitata di valori da 2815 a 5300 lx , sono sufficienti solo 2 livelli di colore; mentre la mappa mensile di luglio dell'illuminamento globale, relativa alla fascia 8÷18, presenta valori compresi fra 58600 e 73350 lx e utilizza solo 8 livelli (quelli più alti) dei 36 disponibili. Situazioni analoghe – ovvero pochi livelli sufficienti per mappa – sono riscontrate anche per i mesi con intensità luminosa intermedia.

Per quanto riguarda invece le mappe dell'illuminamento annuo, l'esigenza di conciliare le due opposte esigenze, ossia di facilitare i confronti fra mappe differenti da un lato, e sfruttare il più possibile la gamma cromatica della palette dall'altro, ha suggerito la scelta di due ulteriori palette:

- la prima, applicata alle due mappe annue dell'illuminamento globale (per entrambe le fasce orarie 0÷24 e 8÷18). Essa prevede la suddivisione dell'intervallo di valori da 15000 a 48000 lx in 33 livelli (di colore) di ampiezza pari a 1000 lx , a cui sono aggiunti 2 ulteriori livelli per etichettare i valori rispettivamente inferiori a 15000 e superiori a 48000 lx ;
- la seconda, applicata alle due mappe annue dell'illuminamento diffuso (sia per la fascia oraria 0÷24 e sia per 8÷18). Quest'altra prevede la suddivisione dell'intervallo di valori da 8000 a 18000 lx in 20 livelli (di colore) di ampiezza pari a 500 lx , a cui sono aggiunti 2 ulteriori livelli per etichettare i valori rispettivamente inferiori a 8000 e superiori a 18000 lx ;

Usando due palette differenti, il confronto fra gli illuminamenti globali e quelli diffusi sarà sempre possibile, ma per effettuarli correttamente occorrerà leggere i valori mostrati nella legenda.

Tutte le 52 mappe qui descritte sono riportate nell'appendice.

Si osservi che in questo rapporto la mappa dell'illuminamento globale orizzontale annuo mediato sulla fascia oraria 8÷18 è stata mostrata due volte, in figura 1 e in appendice A.1. In entrambi i casi la grandezza rappresentata è la stessa, ma le palette adottate sono diverse. Questa circostanza dà la possibilità di valutare l'influenza sulla resa visiva di palette differenti per numero di livelli e/o range di valori rappresentabili. Nel primo caso qui menzionato la palette è stata predisposta per utilizzare l'intero spettro dei livelli disponibili: dal viola per il territorio dell'Alto Adige, che presenta i valori d'illuminamento più bassi, al rosso per la parte meridionale della regione siciliana, caratterizzata invece dai valori più intensi. Diversamente, nel secondo caso la palette, come si è detto in precedenza, è stata concepita per essere applicata all'illuminamento globale di entrambe le fasce orarie 0÷24 e 8÷18; di conseguenza, dovendo essere più ampio il range di valori rappresentabili, risulta più stretta la serie cromatica dei colori sfruttati: dal verde al rosso, anziché dal viola al rosso.

3 L'ampliamento del sito *Solaritaly* con le mappe italiane dell'illuminamento naturale

Uno degli intenti di questo lavoro consiste nel creare strumenti che permettano alla comunità tecnica nazionale di avere facile accesso ai dati d'illuminamento naturale. Una delle azioni possibili è di pubblicare i dati, numerici e/o grafici, anche su siti Internet dedicati allo scopo. A questo proposito va ricordato che l'ENEA gestisce già da tempo il sito *Solaritaly* (www.solaritaly.enea.it) dedicato alla radiazione solare [13,22]. Essenzialmente, tale sito fornisce servizio di calcolo per la radiazione solare: l'utente che si collega riempie dei moduli in cui deve indicare le coordinate della località, gli angoli della giacitura ricevente e pochi altri parametri necessari, e il servizio calcola e rende immediatamente disponibili i valori giornalieri medi mensili e quello annuo per la situazione richiesta. Il servizio si avvale di una base-dati di immagini georeferenziate della radiazione solare, dalle quali vengono estratti di volta in volta i dati necessari al calcolo richiesto. Questo sito è stato ora ampliato con la pubblicazione di una prima selezione delle mappe per l'illuminamento descritte in questo lavoro, immediatamente scaricabili, con l'intento di farne in futuro il sito dell'*Atlante italiano della radiazione solare e dell'illuminamento naturale*, aggiungendovi:

- a) l'intero patrimonio delle mappe disponibili, sia in formato TIFF sia nel testo numerico, mediante un percorso ragionato di pagine HTML;
- b) un servizio di calcolo on-line per l'illuminamento naturale, sulla falsariga di quello già disponibile per la radiazione solare.

4 Conclusioni e sviluppi futuri

Il lavoro descritto in questo rapporto annuale è inserito nella più ampia attività svolta dall'ENEA al fine di mettere a punto strumenti di calcolo per una valutazione più puntuale del contributo fornito dalla fonte naturale all'illuminamento degli edifici e alla conseguente riduzione del fabbisogno energetico degli stessi, ora studiati anche nella declinazione nZEB (*Nearly Zero Energy Buildings*: edifici a consumo energetico quasi nullo). Sarà così possibile, tra l'altro, aggiornare la normativa tecnica vigente, la quale ricorre attualmente a metodi o semplificati o non sufficientemente accurati.

Poiché un passaggio essenziale del calcolo consiste nel ricavare le stime d'illuminamento naturale a partire dai dati dell'irradianza solare, in modo da poter far uso degli estesi data-base di quest'ultima già da tempo largamente disponibili, negli anni scorsi sono stati studiati i modelli fisici e semi-empirici che legano le due grandezze ed è stato messo a punto un ulteriore modello sulla base di misure effettuate dall'ENEA in siti italiani e dunque più confacente all'area geografica del nostro Paese. Nel frattempo, è stato individuato nell'anno meteorologico tipico per l'illuminamento naturale (AMTIN) lo strumento più adeguato a caratterizzare compiutamente singole località sotto l'aspetto dell'illuminamento naturale ed è stato approntato un database costituito dagli AMTIN per 243 località italiane.

Con il lavoro svolto nella corrente annualità della Ricerca di Sistema Elettrico, il database dell'*illuminamento naturale relativo alla regione italiana* è stato arricchito grazie all'allestimento di mappe tematiche che rappresentano l'illuminamento medio mensile e quello medio annuo sull'intera regione italiana. Ne sono state prodotte 52, ossia 13 (12 mensili + 1 annua) ma duplicate in 4 versioni: da un lato, per rappresentare la componente globale e diffusa; dall'altro, in relazione alle due fasce orarie 0:00÷24:00 e 8:00÷18:00 (quest'ultimo utile per gli uffici). Per quanto riguarda l'archiviazione digitale, ciascuna delle 12 mappe è stata allestita in due copie: testo (tabella numerica) e grafico (TIFF).

I due strumenti — gli anni tipici e le mappe tematiche — sono complementari: infatti gli anni tipici sono elaborazioni geografiche 'puntuali' e dunque descrivono singole località; al contrario le mappe, essendo state correttamente georeferenziate, permettono di calcolare il dato d'illuminamento virtualmente per qualunque località, purché siano note le sue coordinate geografiche. In definitiva, le mappe forniscono un'informazione spazialmente 'continua' delle differenti grandezze fotometriche dell'illuminamento e permettono di apprezzare facilmente l'andamento sul territorio del fenomeno rappresentato.

Il patrimonio di mappe dell'illuminamento naturale approntato

- a) è ora costituito da 13 mappe che riportano i **dodici valori medi mensili e quello medio annuo dell'illuminamento naturale** globale orizzontale; e altrettante per quello diffuso (pure) orizzontale;
- b) ciascuna delle 26 mappe precedenti è poi stata redatta in due versioni a seconda della fascia oraria: una prima per l'intero arco giornaliero di 24 ore; la seconda per l'intervallo 8:00 ÷ 18:00 (tipico degli uffici);
- c) infine, di ciascuna delle 52 mappe contate sopra, sono state prodotte due versioni in base al formato di archiviazione digitale: numerico (testo) e grafico (TIFF).

Sulla base dei risultati sin qui conseguiti, si possono delineare i seguenti sviluppi futuri:

- a) proseguire la campagna di acquisizione dei dati di illuminamento naturale presso le stazioni di Milano, Casaccia e Lampedusa per estendere la base dei dati disponibile e migliorare, se necessario, la stima dei parametri introdotti nel **modello ENEA** dell'efficacia luminosa. È desiderabile che tale base si estenda per più di un anno¹⁰, per tener conto di tutte le situazioni climatiche che si presentano nella località di acquisizione dei dati;

¹⁰ Un anno è il periodo minimo per abbracciare l'intero ciclo delle variabilità stagionali.

- b) procedere all'allestimento capillare degli **anni meteorologici tipici per l'illuminamento naturale** (AMTIN), estendendo il data-base già disponibile ad altre località italiane importanti sotto l'aspetto antropico e amministrativo (ad esempio, i comuni);
- c) redigere gli AMTIN e preparare le mappe d'illuminamento anche per la fascia oraria 8:00 ÷ 17:00, la quale è esplicitamente prevista nei software di simulazione più diffusi;
- d) preparare tabelle e mappe dell'illuminamento naturale non già solo riferite alle giaciture orizzontale (ill. globale e diffuso) e normale (ill. diretto), ma anche alle orientazioni di edifici importanti dal punto di vista costruttivo, ad esempio, la **parete verticale** rivolta a ciascuno dei quattro punti cardinali (Nord, Est, Sud e Ovest);
- e) estendere la base pluriennale per la selezione dei mesi da incorporare negli AMTIN e nelle mappe (ora "congelata" al periodo 2006-2016)¹¹, man mano che si renderanno disponibili i dati degli anni più recenti;
- f) mettere i risultati a disposizione della comunità tecnica nazionale, con l'approntamento di un servizio di calcolo on-line e la pubblicazione completa dei dati (anni-tipo) e delle mappe sul sito web *Solaritaly* — *Atlante italiano della radiazione solare* ¹², gestito dall'ENEA, che per questo motivo dovrà essere ingrandito e profondamente riprogettato sia sotto l'aspetto formale (*layout*) e sia per i contenuti ospitati, cambiandone anche la denominazione perché sia reso esplicito il riferimento *alla radiazione solare e all'illuminamento naturale*.

¹¹ Le mappe descritte in questo rapporto, frutto del lavoro dell'ultimo anno, si basano sul periodo 2006-2017.

¹² Per una descrizione dell'Atlante vedasi ancora [13]. L'URL è indicato in [20].

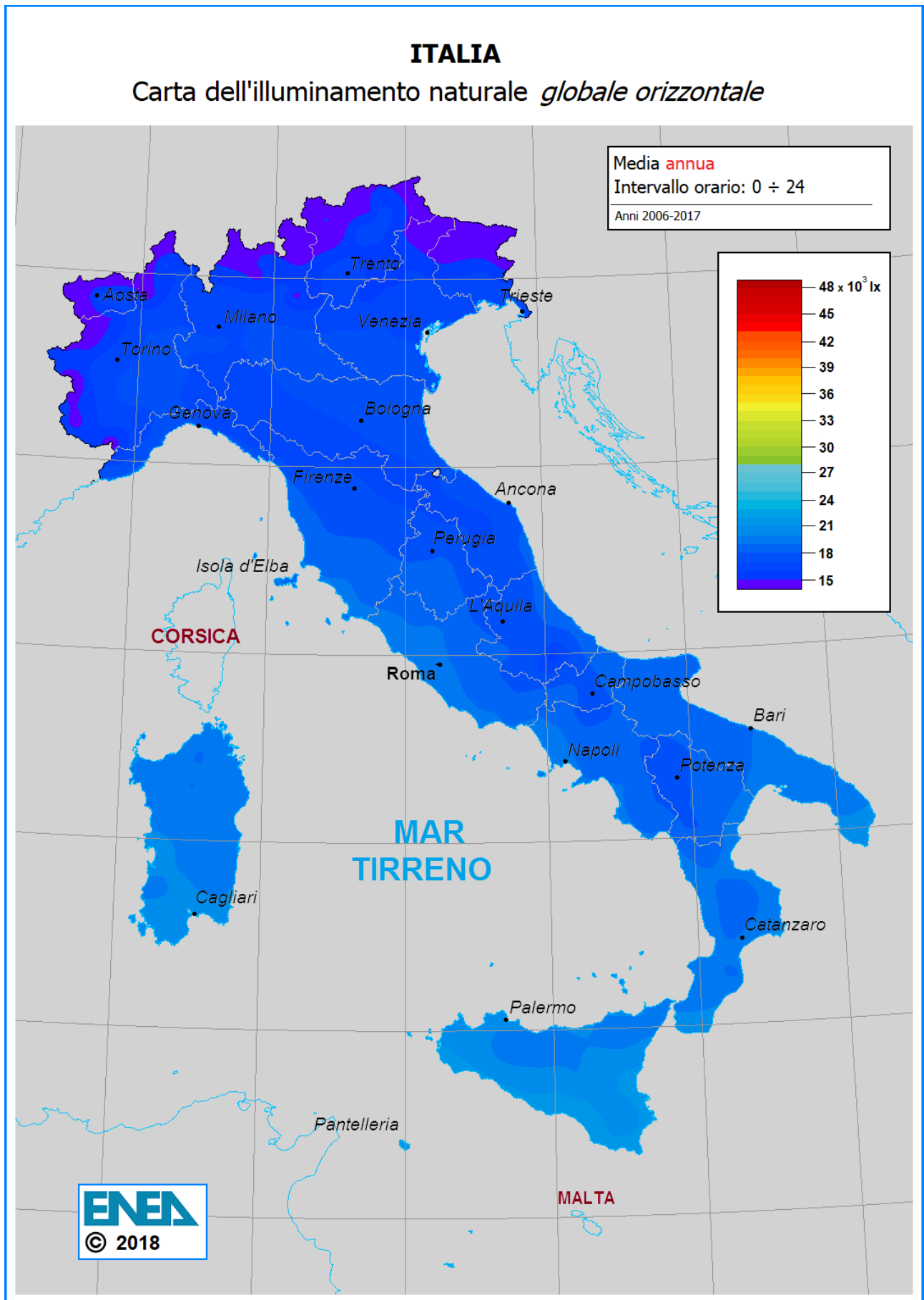
Appendice. Mappe dell'illuminamento naturale (medio) in Italia

A.1 Mappe dell'illuminamento naturale (medio) **annuo** in Italia

Le mappe d'illuminamento (medio) annuo per la regione italiana riportate in questa appendice sono 4 ed elencate in quest'ordine:

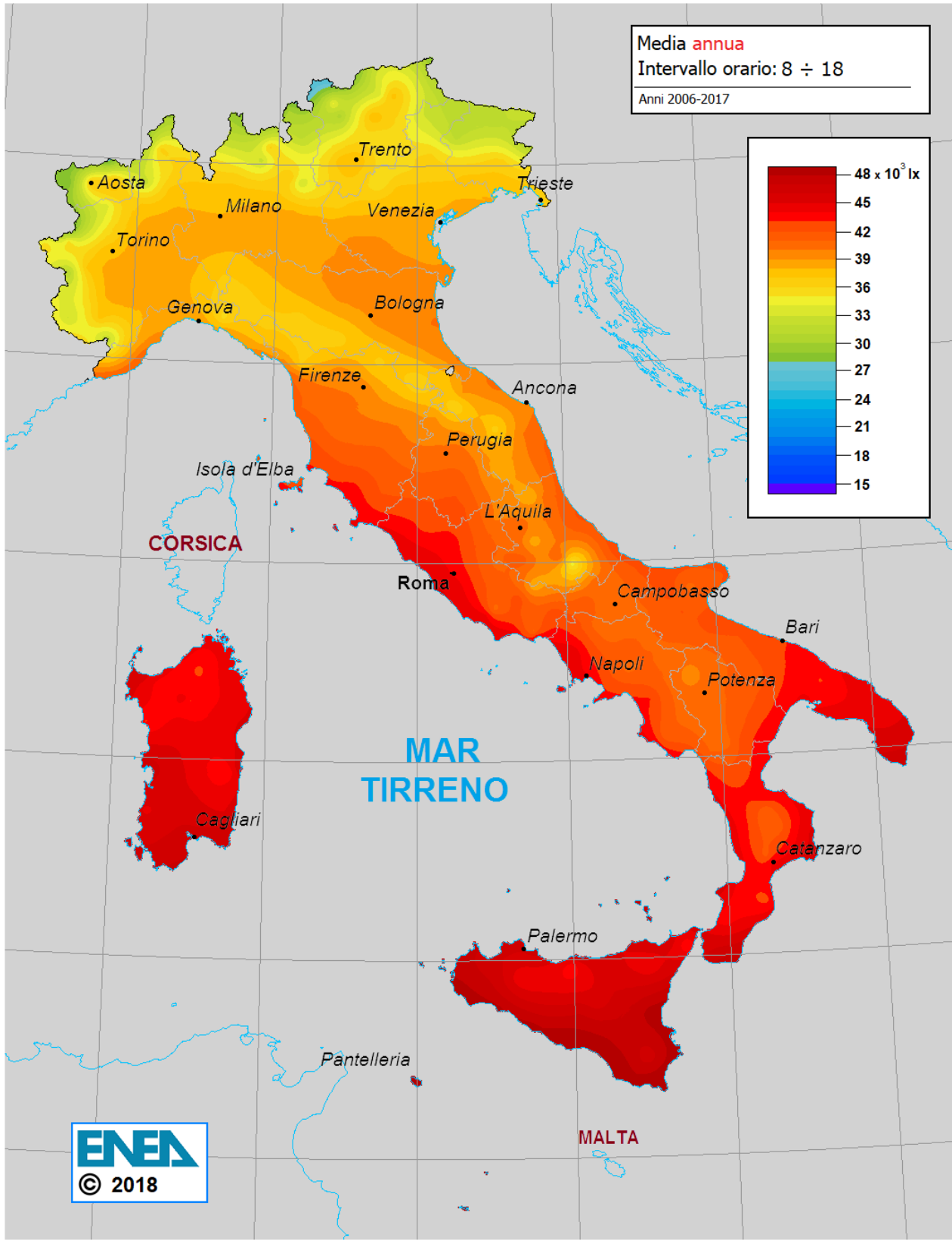
- mappa dell'illuminamento **globale** orizzontale relativo alla fascia oraria **0÷24**;
- mappa dell'illuminamento **globale** orizzontale relativo alla fascia oraria **8÷18**;
- mappa dell'illuminamento **diffuso** orizzontale relativo alla fascia oraria **0÷24**;
- mappa dell'illuminamento **diffuso** orizzontale relativo alla fascia oraria **8÷18**.

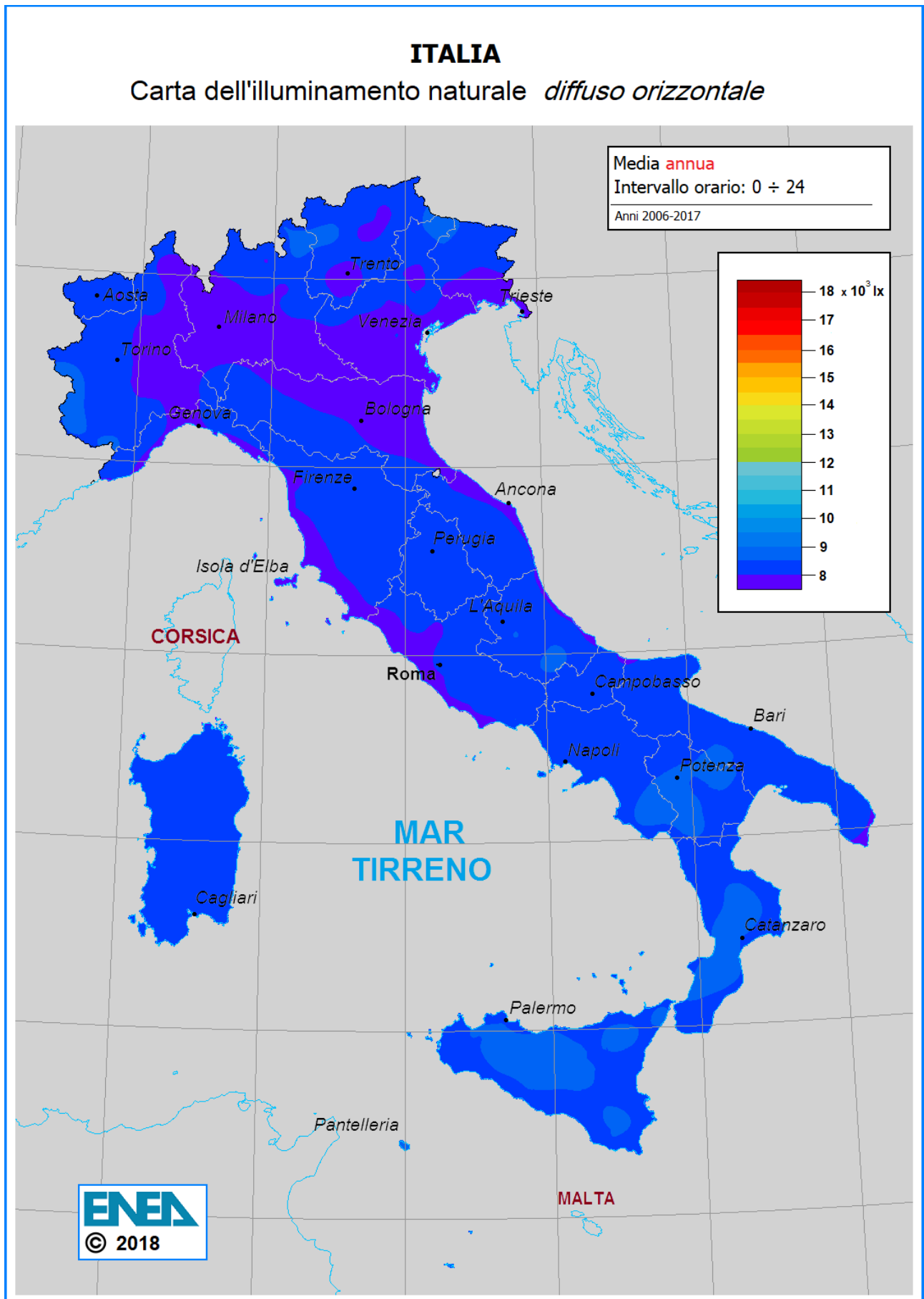
Ciascuna mappa è corredata di titolo, didascalia e legenda, che ne descrivono il contenuto. Sono utilizzate due palette differenti, una per l'illuminamento globale, l'altra per quello diffuso. Si rimanda al capitolo 2 per la spiegazione dei criteri della scelta delle palette e dei parametri che le definiscono.



ITALIA

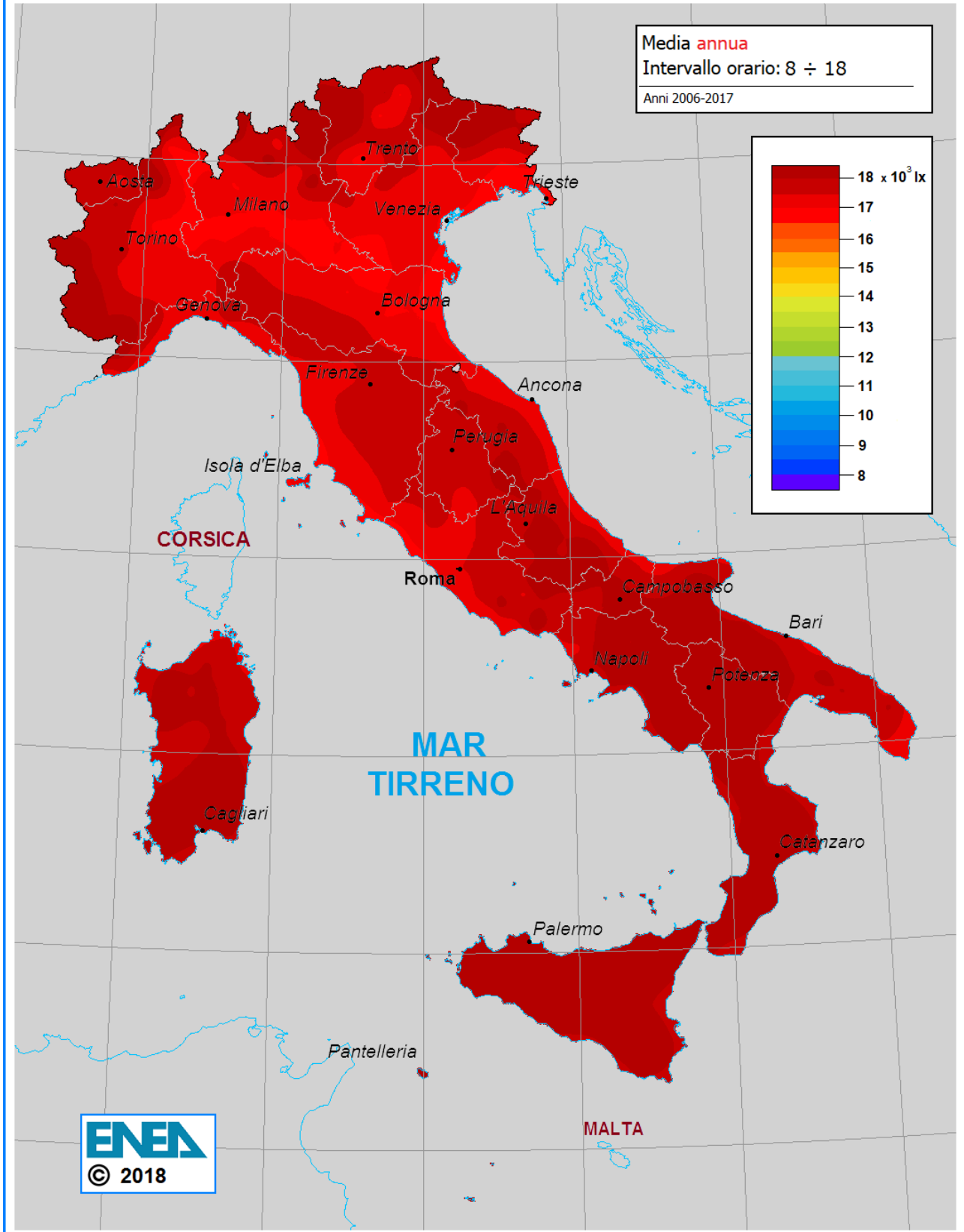
Carta dell'illuminamento naturale *globale orizzontale*





ITALIA

Carta dell'illuminamento naturale *diffuso orizzontale*



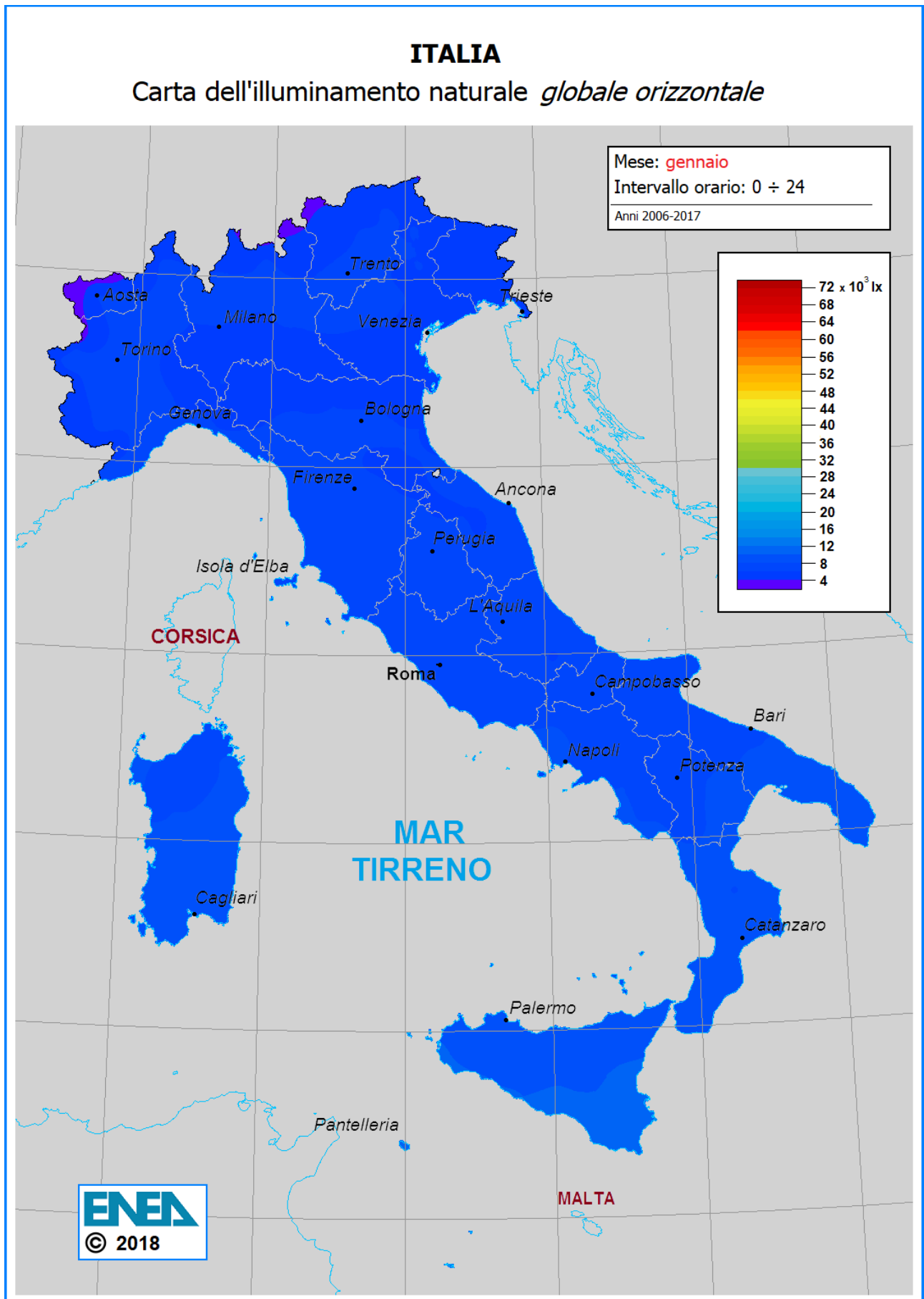
A.2 Mappe dell'illuminamento naturale (medio) mensile in Italia

Le mappe d'illuminamento (medio) mensile per la regione italiana riportate nell'appendice sono 48 ed elencate in quest'ordine:

- 12 mappe mensili dell'illuminamento **globale** orizzontale relative alla fascia oraria **0÷24**;
- 12 mappe mensili dell'illuminamento **globale** orizzontale relative alla fascia oraria **8÷18**;
- 12 mappe mensili dell'illuminamento **diffuso** orizzontale relative alla fascia oraria **0÷24**;
- 12 mappe mensili dell'illuminamento **diffuso** orizzontale relative alla fascia oraria **8÷18**.

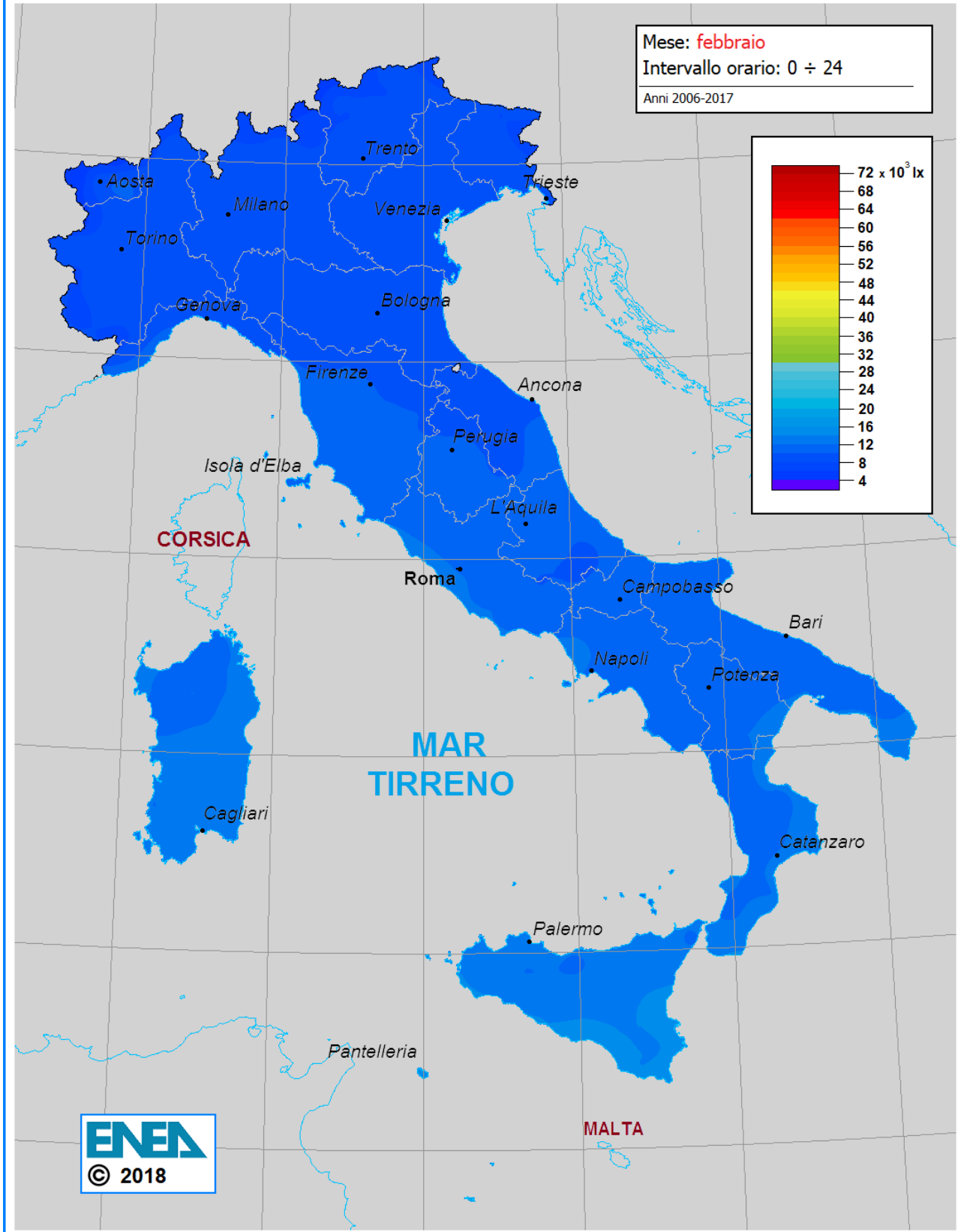
Ciascuna mappa è corredata di titolo, didascalia e legenda, che ne descrivono il contenuto. Tutte le mappe adottano una stessa palette e dunque sono direttamente confrontabili in base alla sola differenza di tonalità dei colori. Si rimanda al capitolo 2 per la spiegazione dei criteri della scelta della palette e dei parametri che la definiscono.

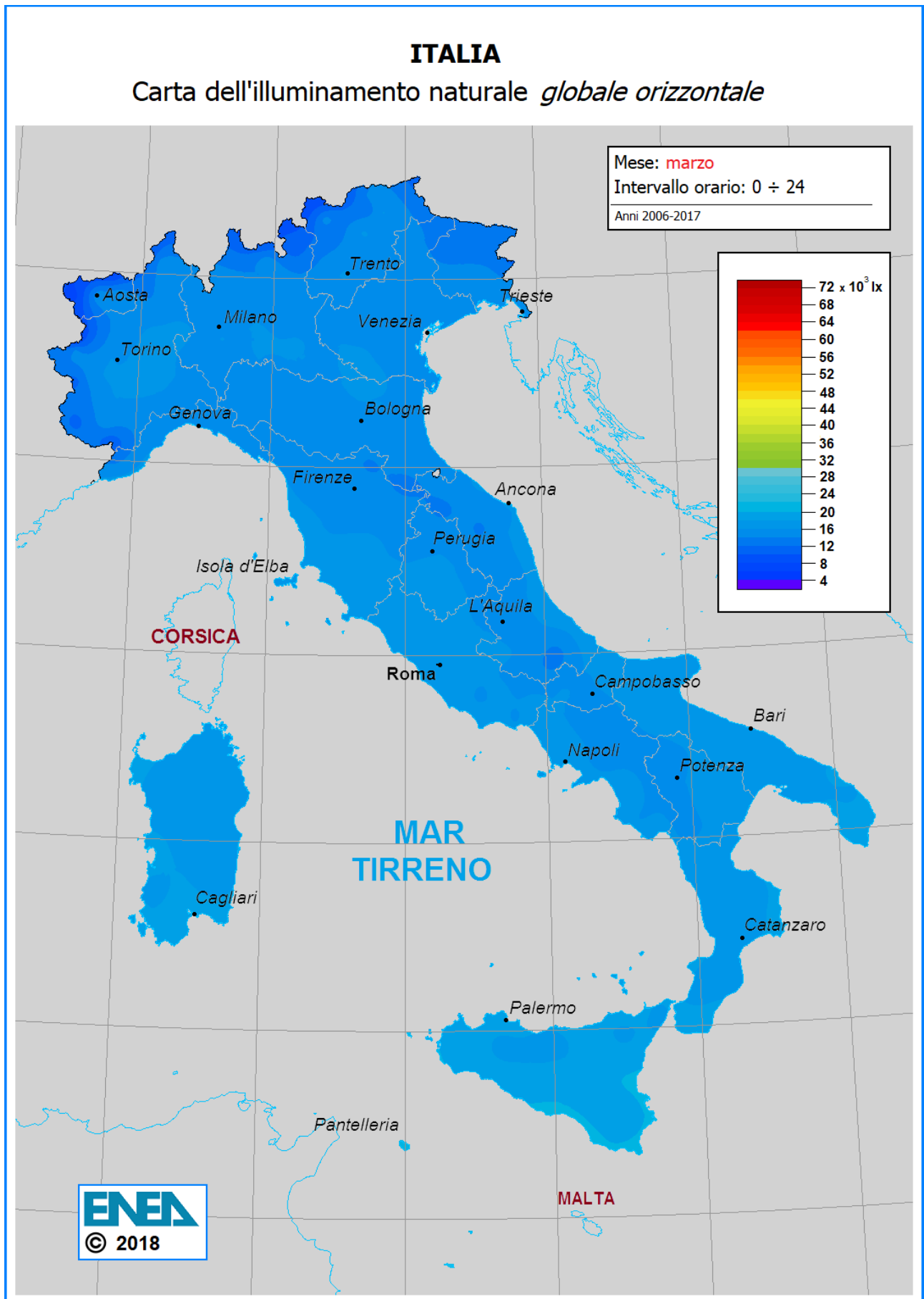
A.2.a Mappe mensili dell'illuminamento globale orizzontale per la fascia oraria 0÷24



ITALIA

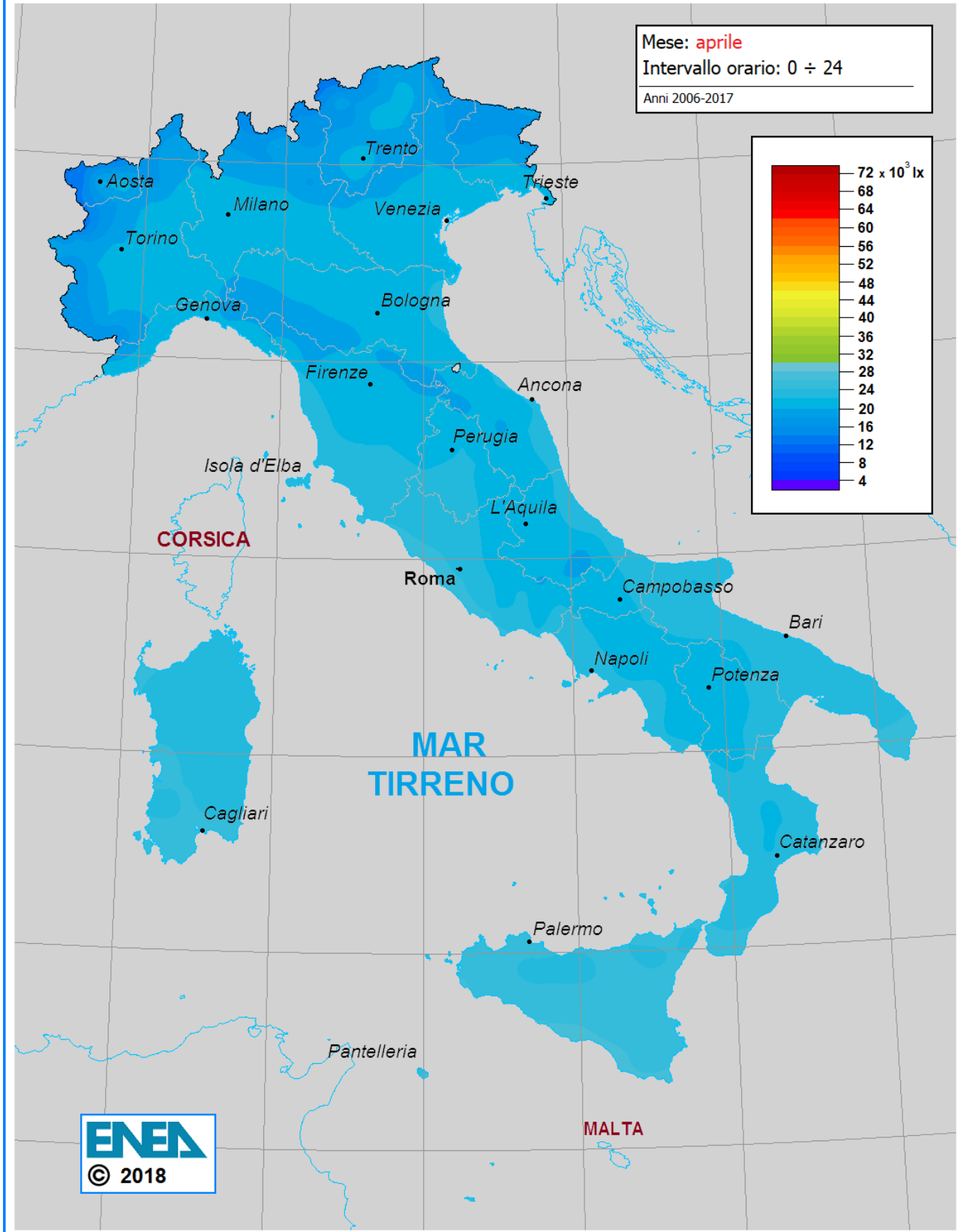
Carta dell'illuminamento naturale *globale orizzontale*

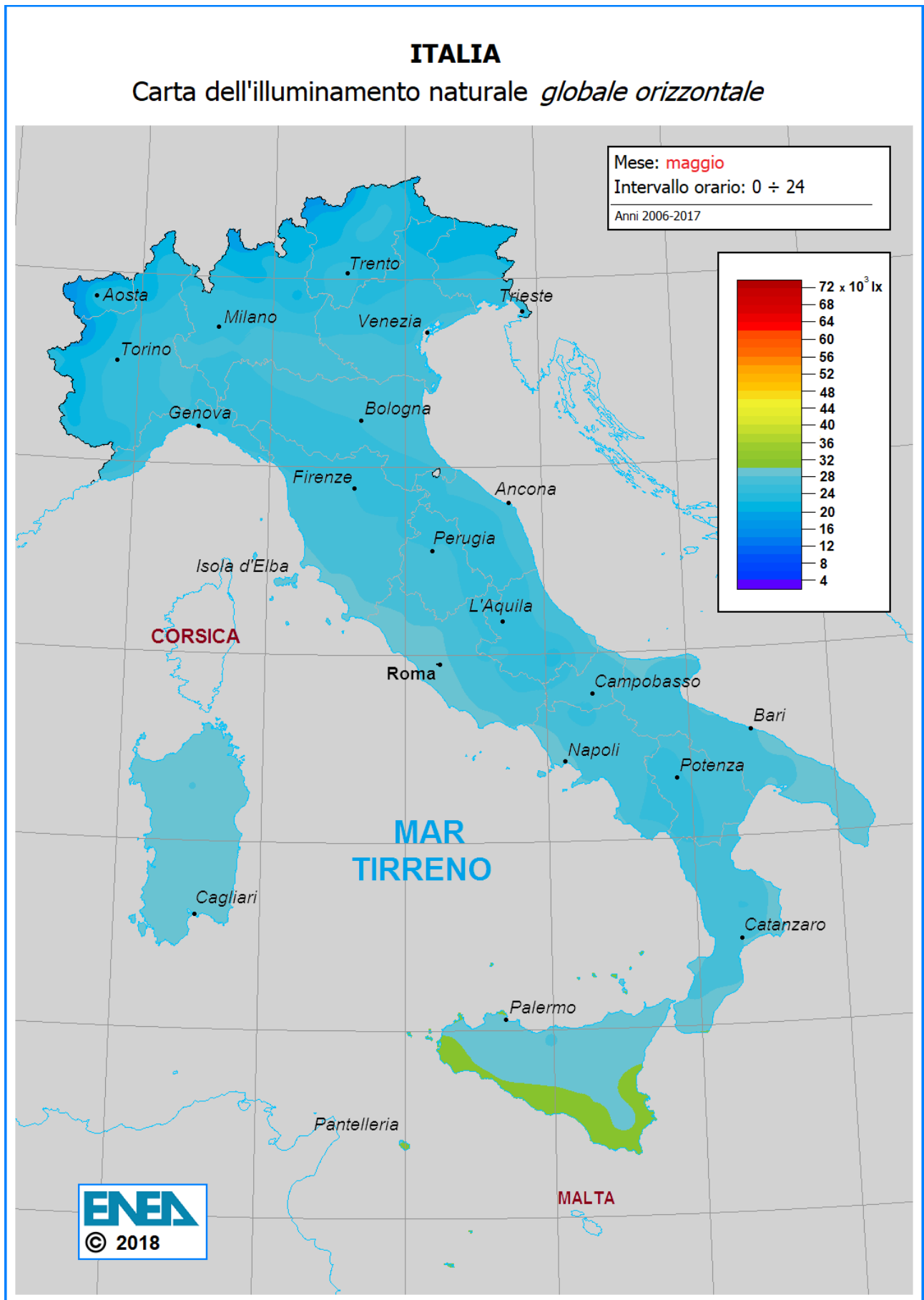




ITALIA

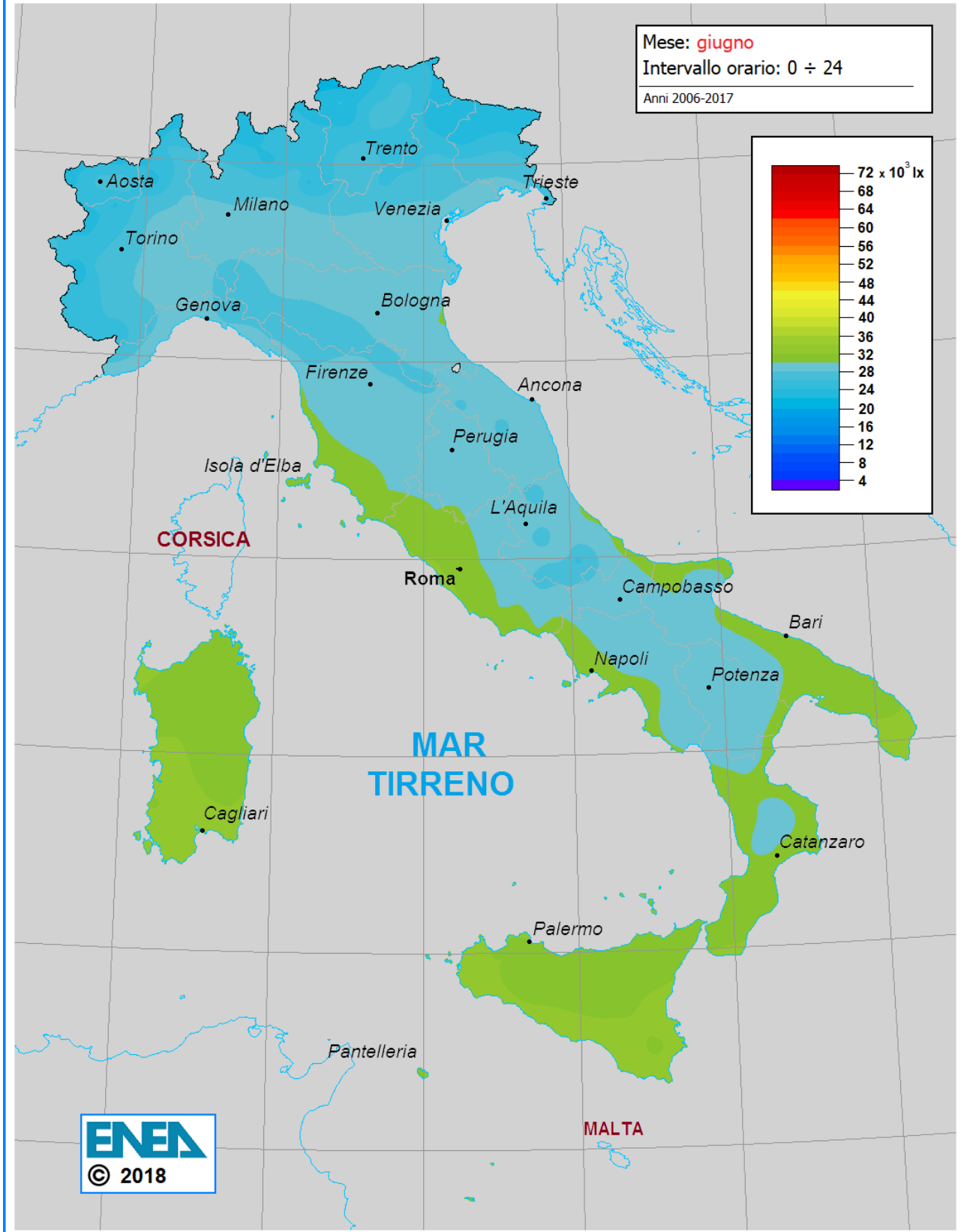
Carta dell'illuminamento naturale *globale orizzontale*

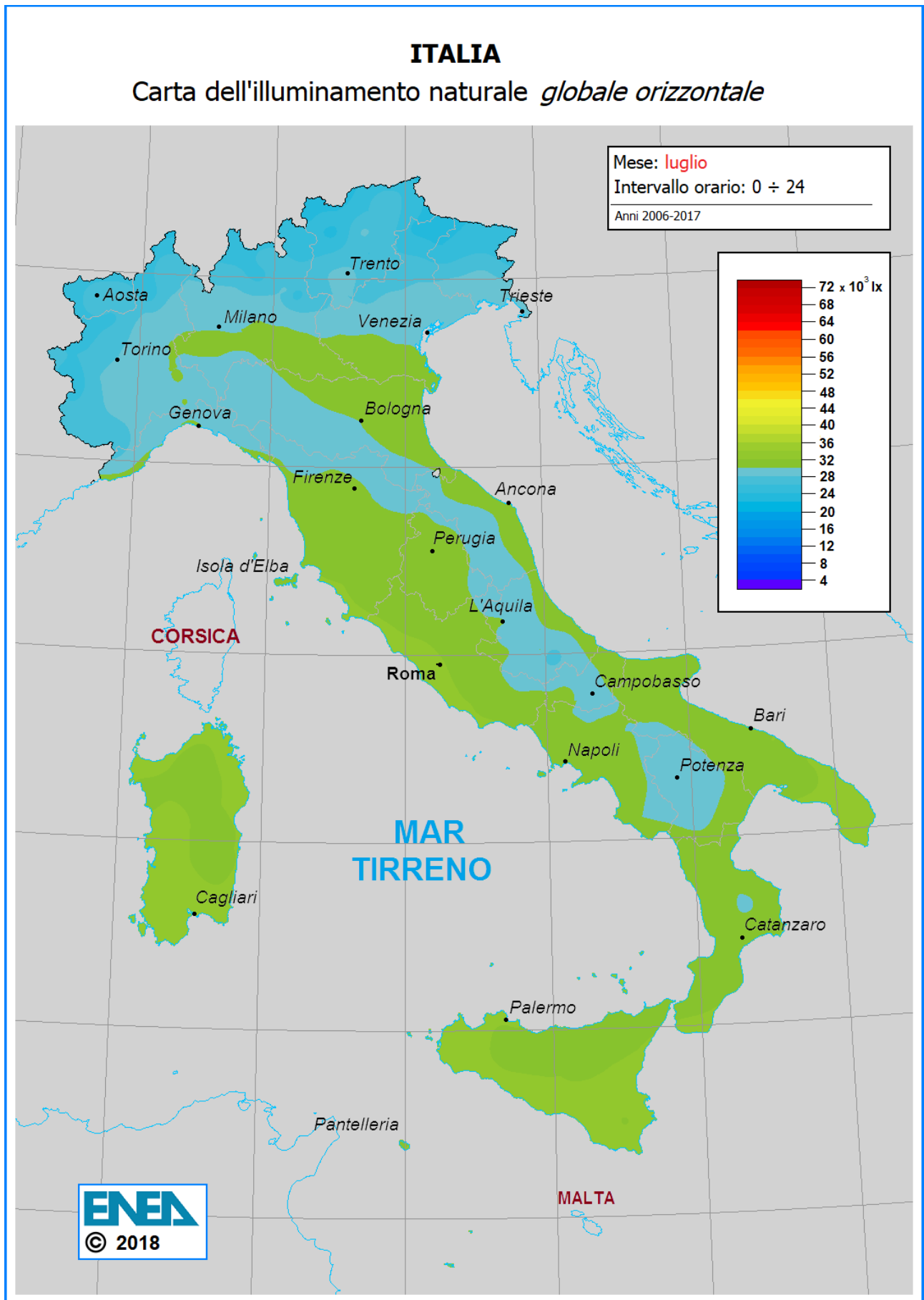




ITALIA

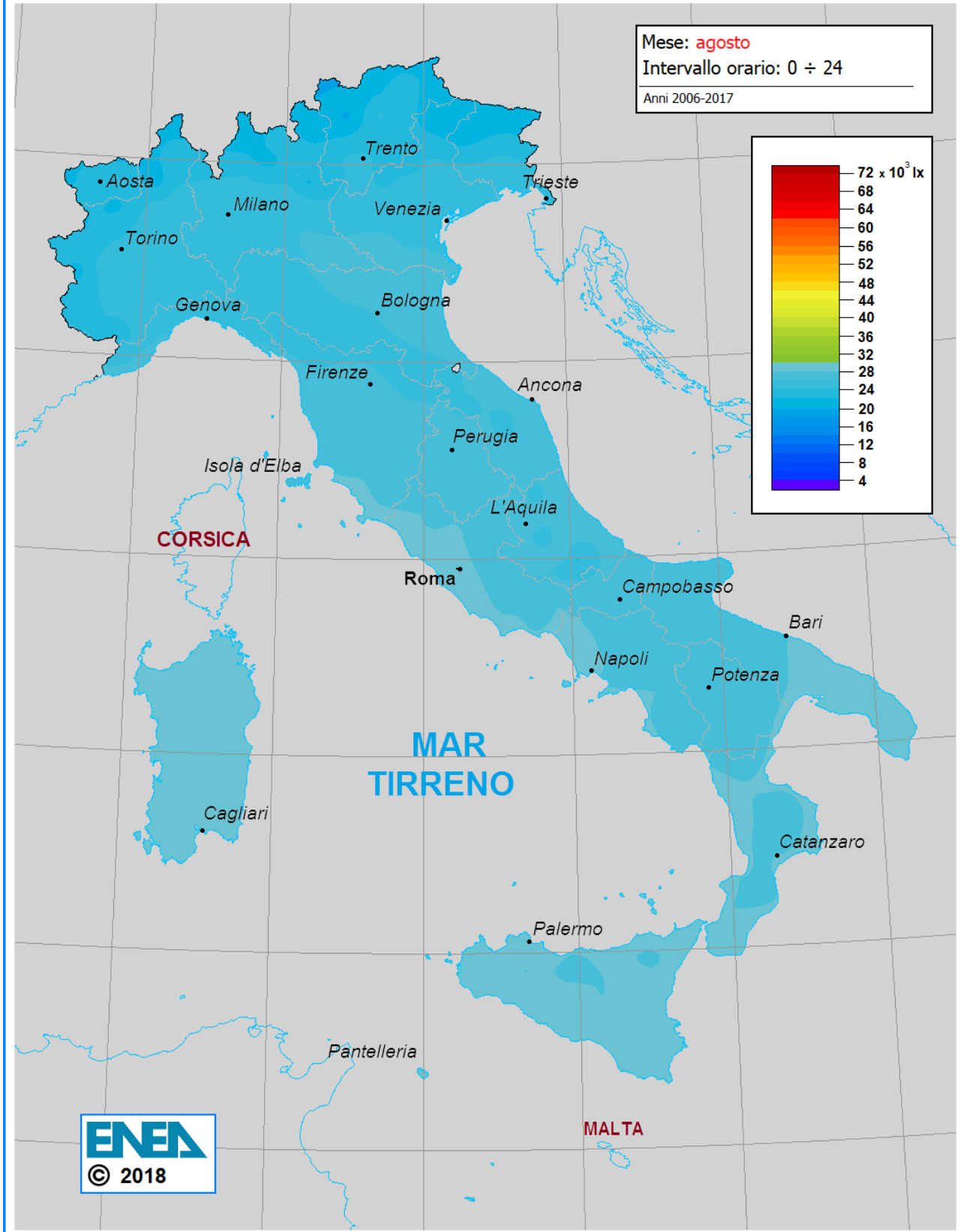
Carta dell'illuminamento naturale *globale orizzontale*

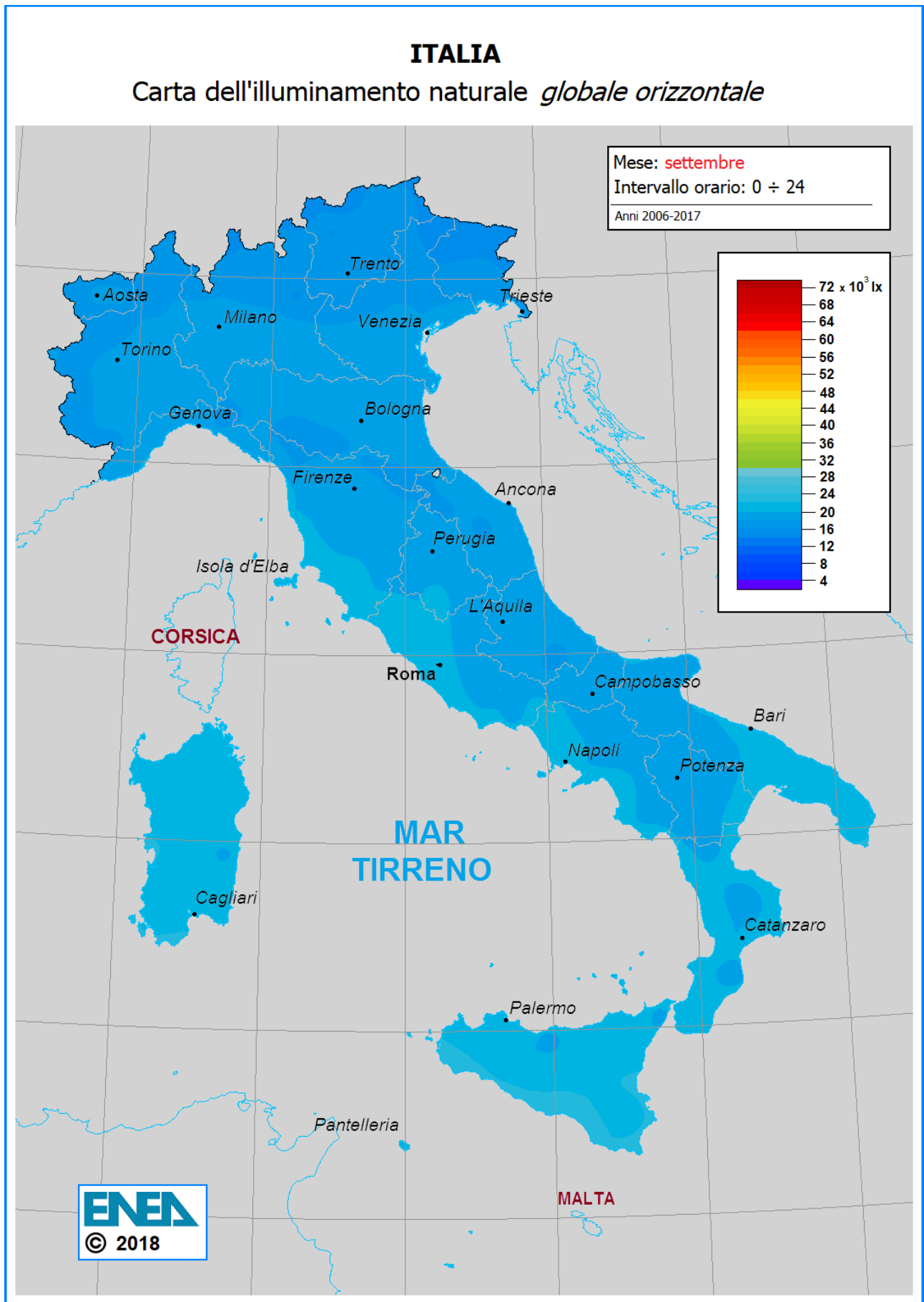




ITALIA

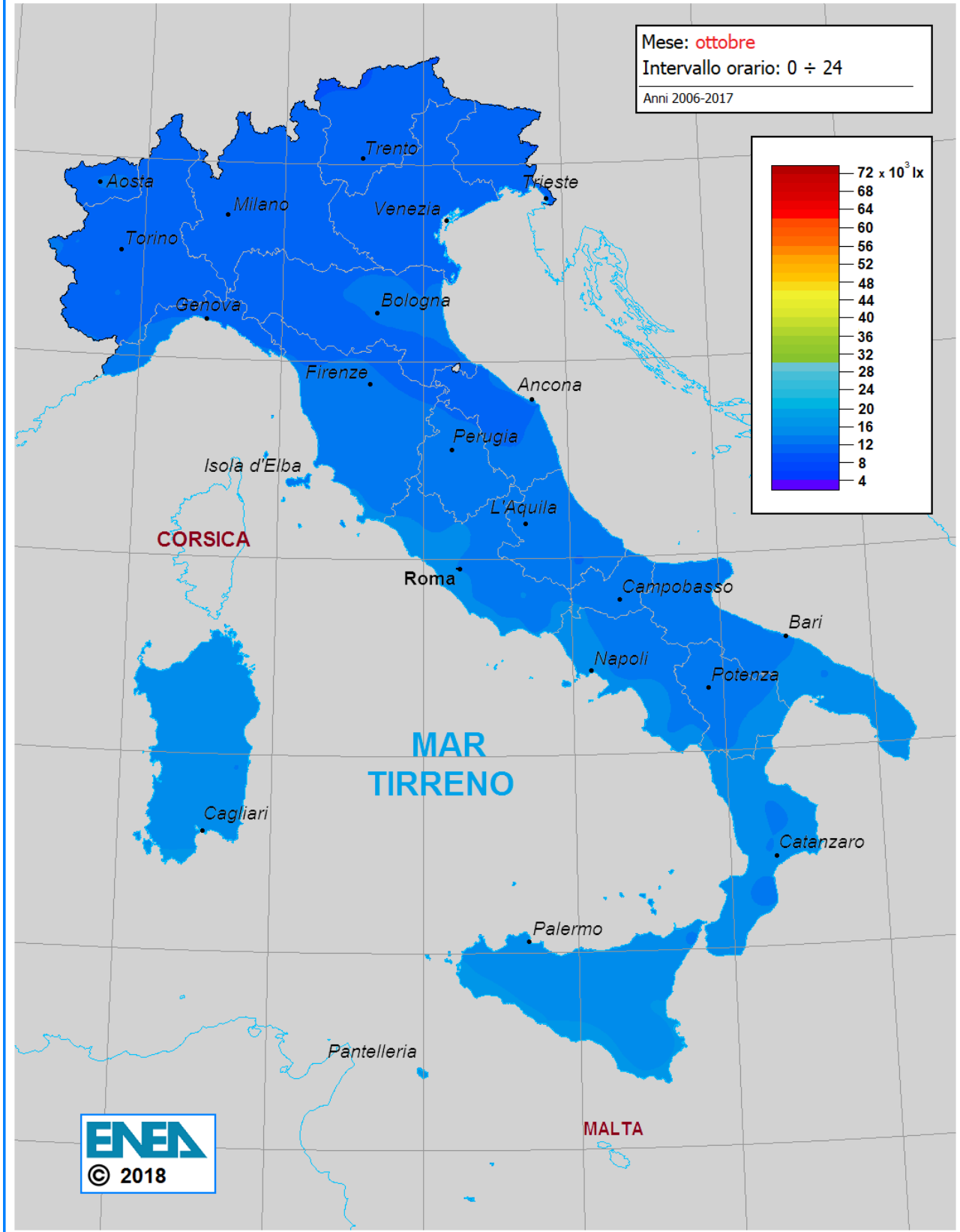
Carta dell'illuminamento naturale *globale orizzontale*

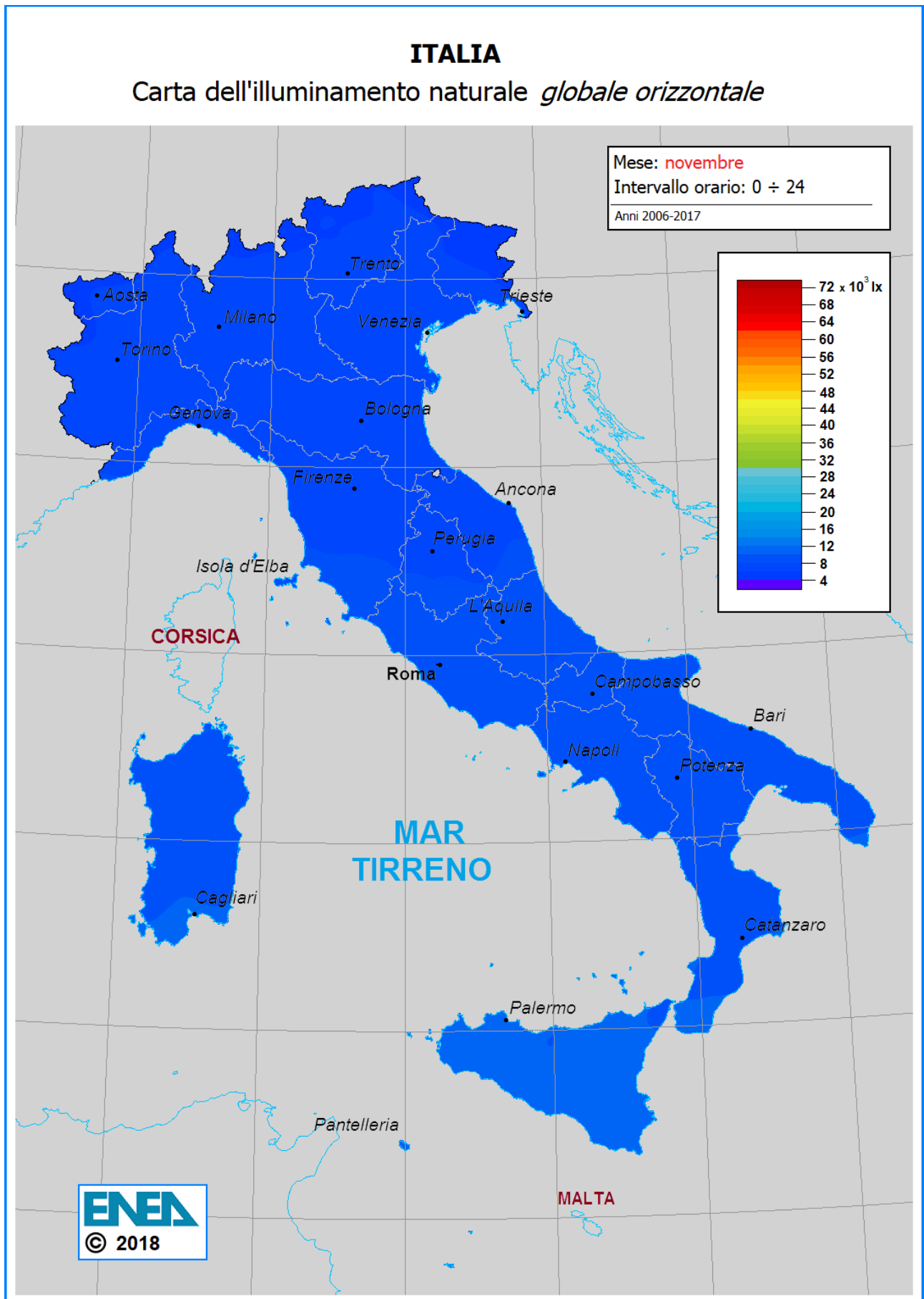




ITALIA

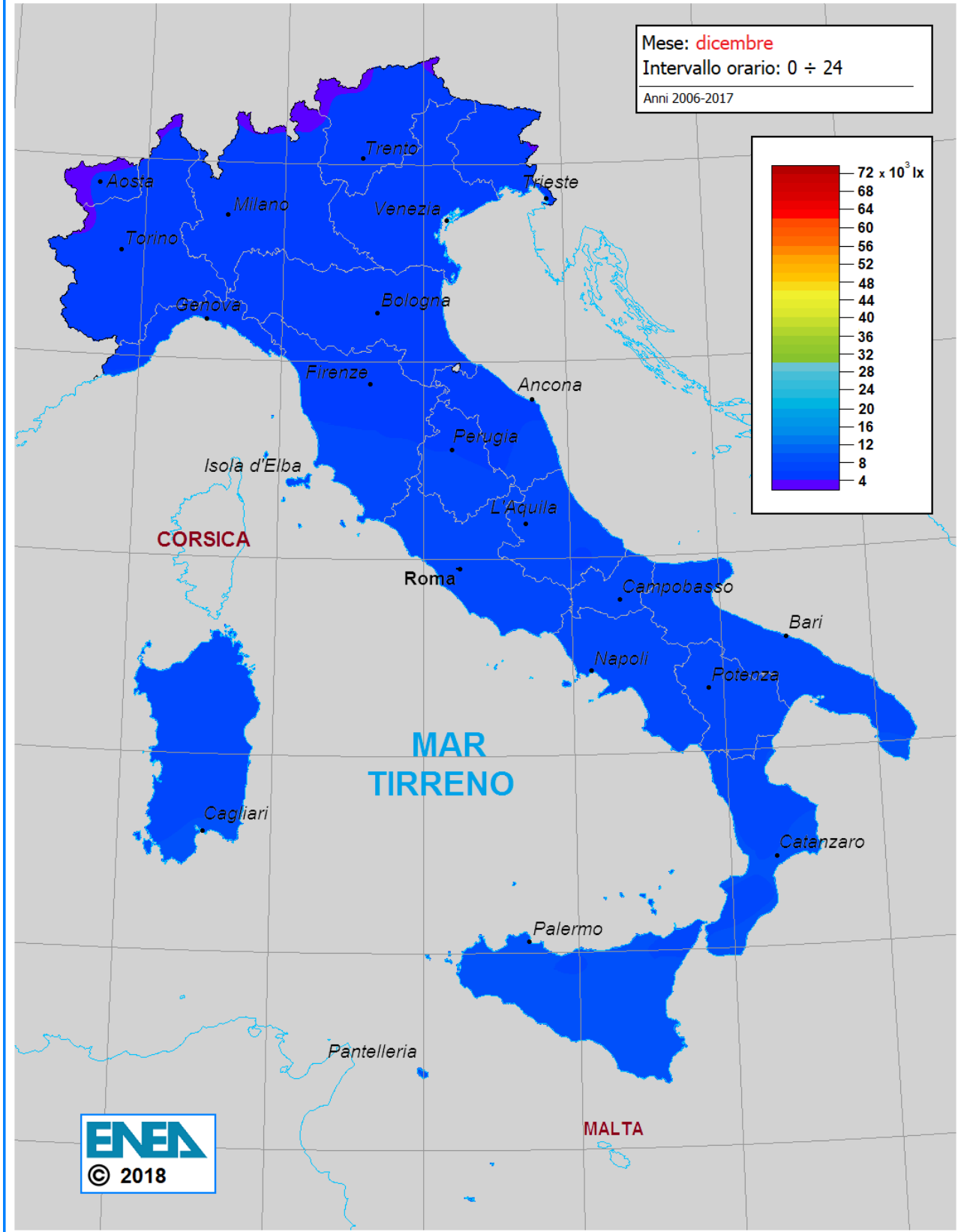
Carta dell'illuminamento naturale *globale orizzontale*



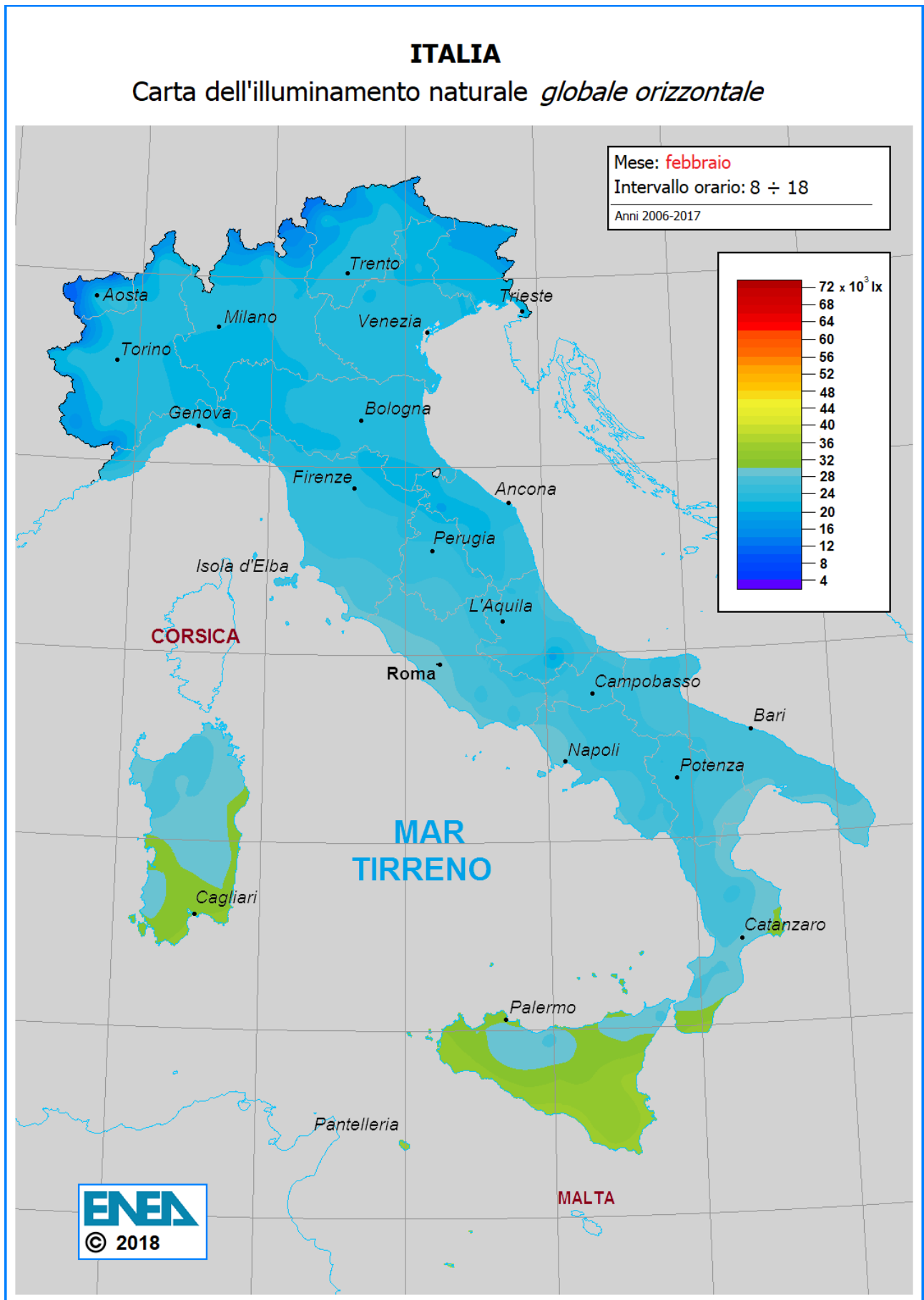


ITALIA

Carta dell'illuminamento naturale *globale orizzontale*

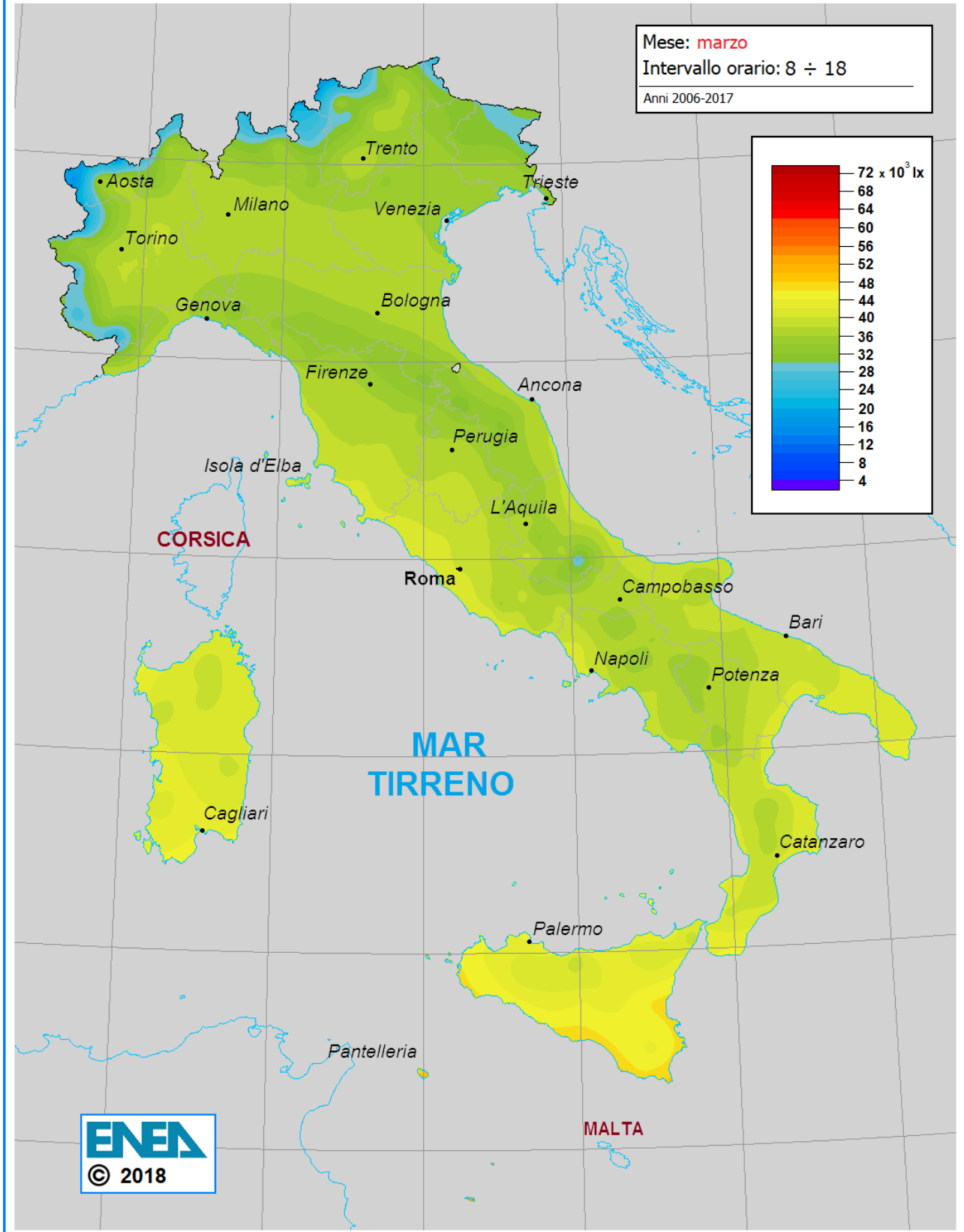


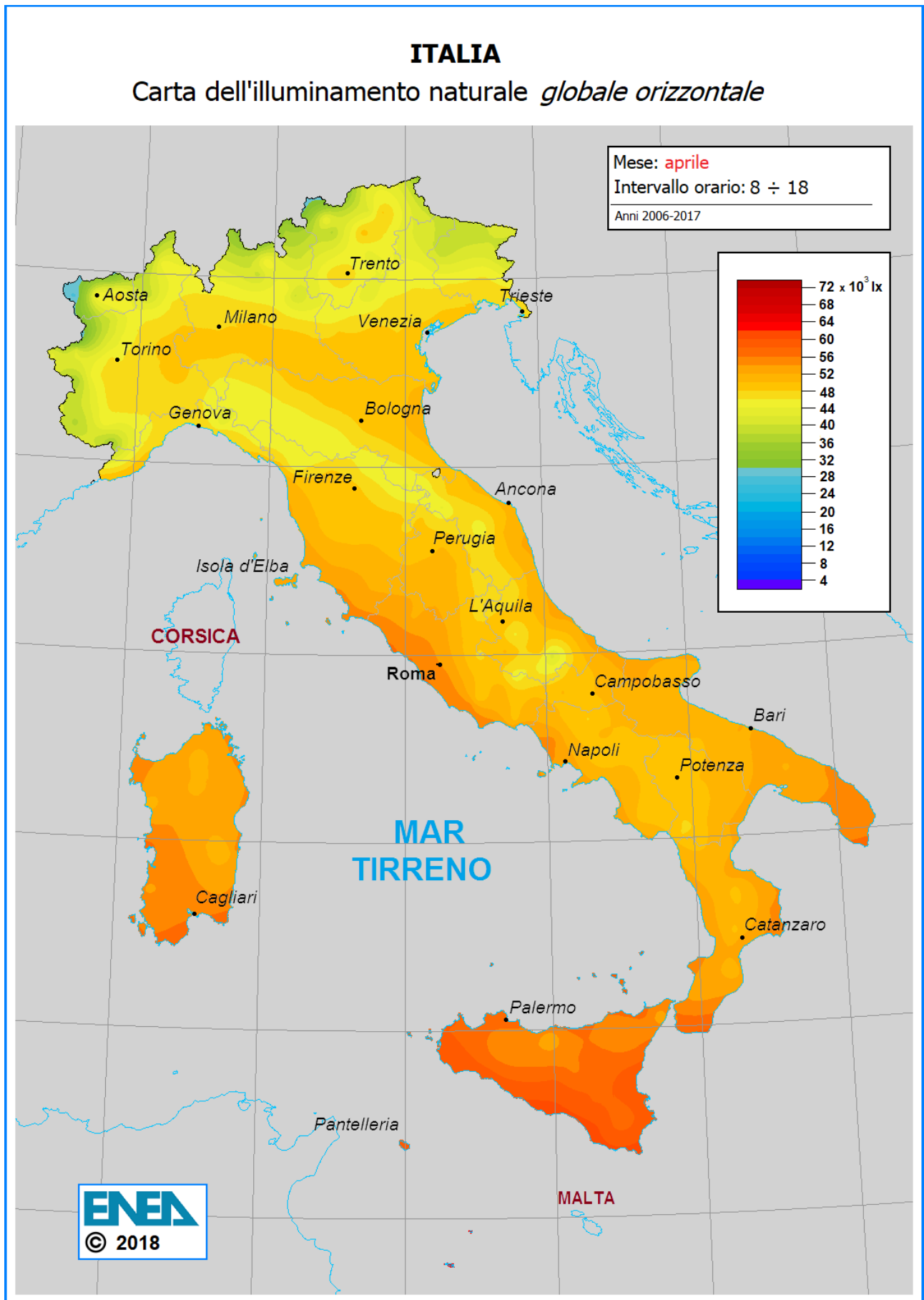
A.2.b Mappe mensili dell'illuminamento globale orizzontale per la fascia oraria 8÷18



ITALIA

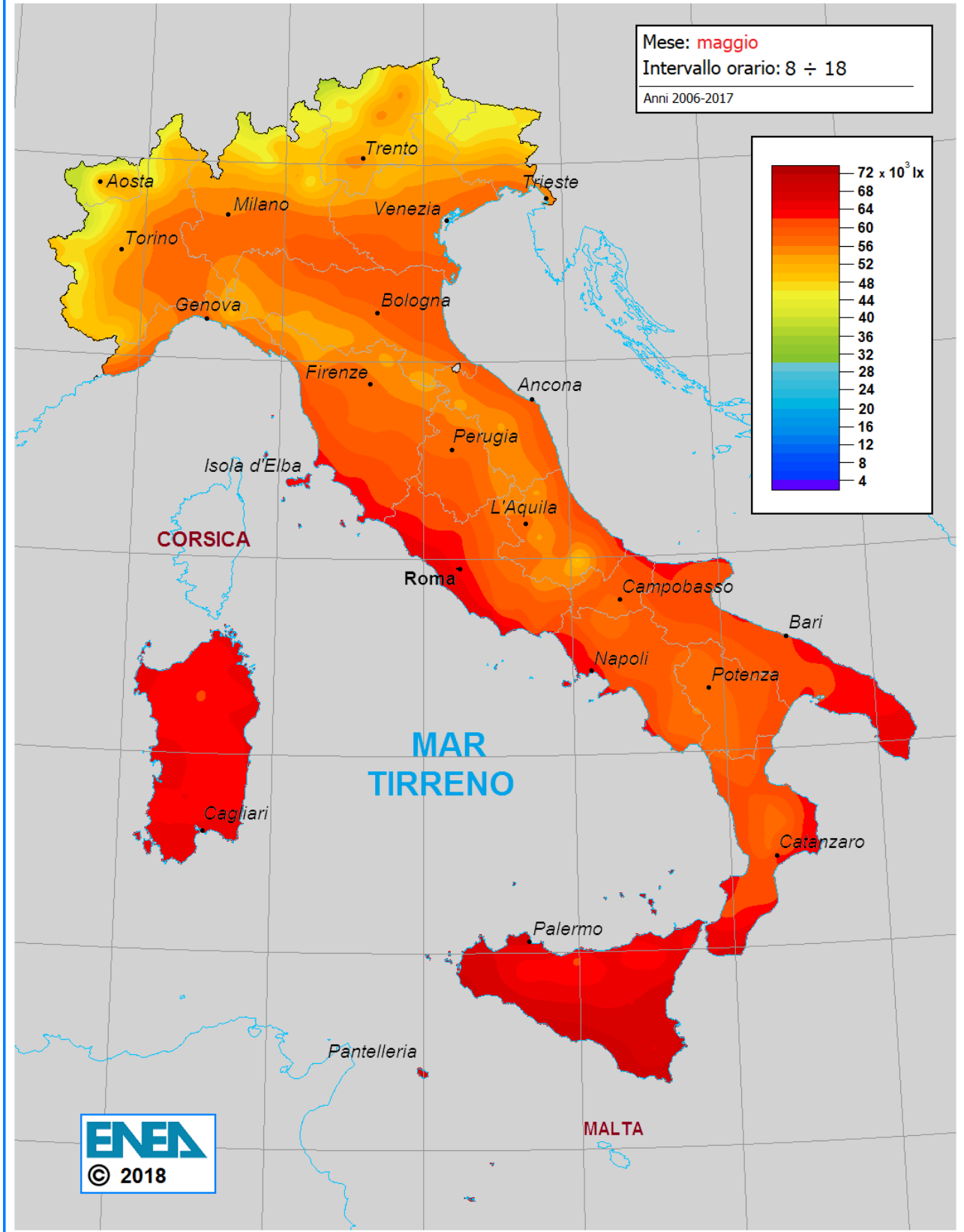
Carta dell'illuminamento naturale *globale orizzontale*

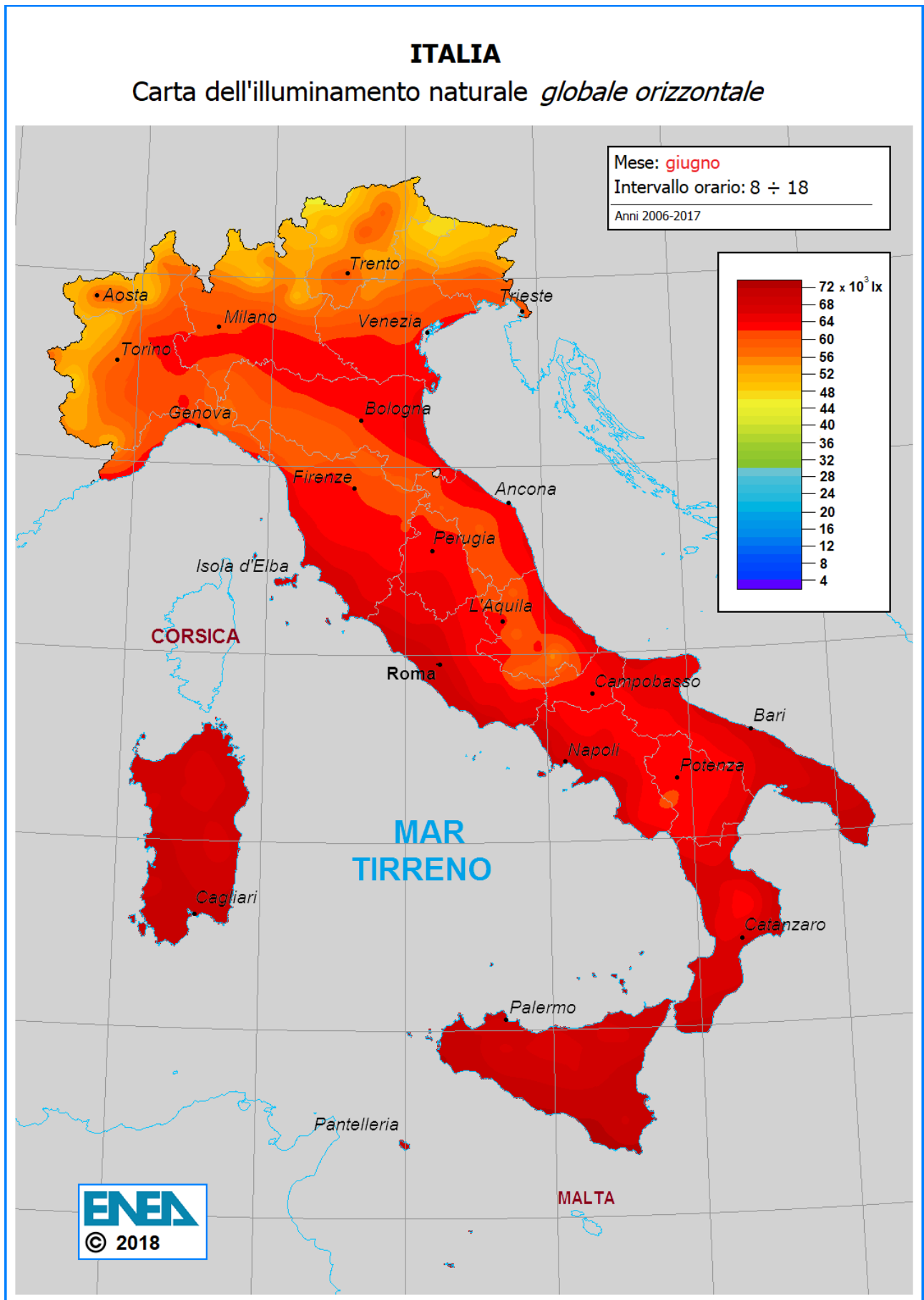




ITALIA

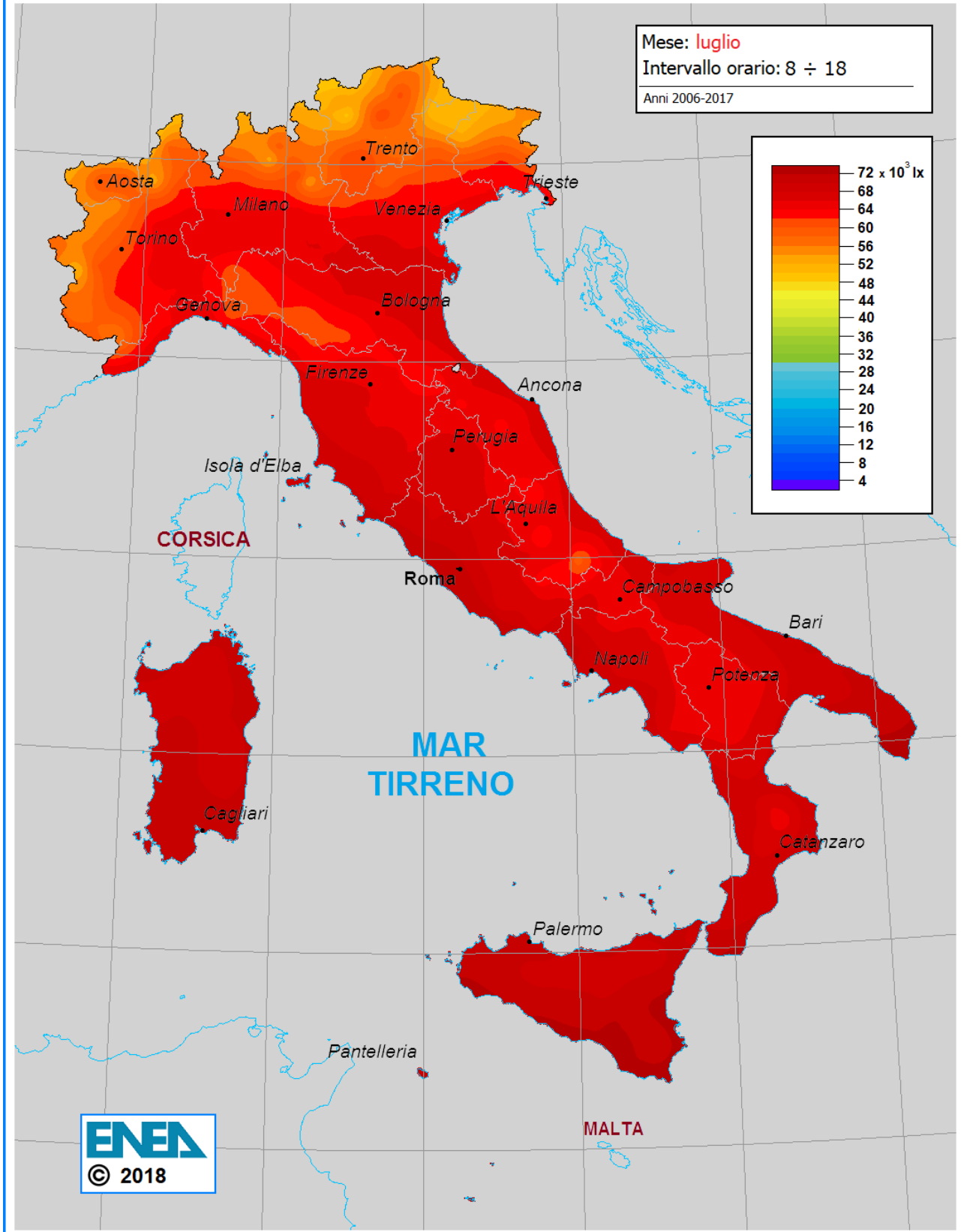
Carta dell'illuminamento naturale *globale orizzontale*

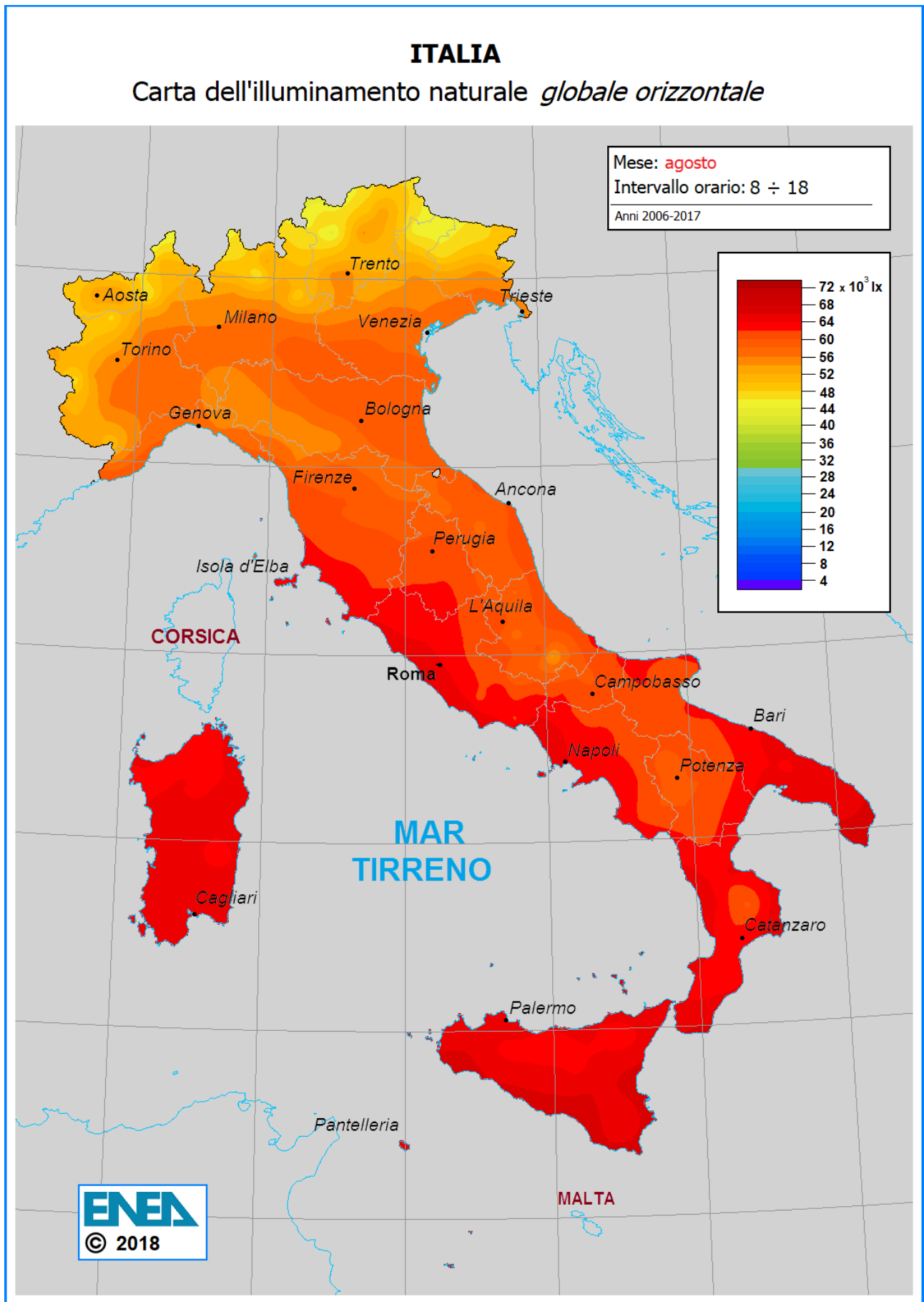




ITALIA

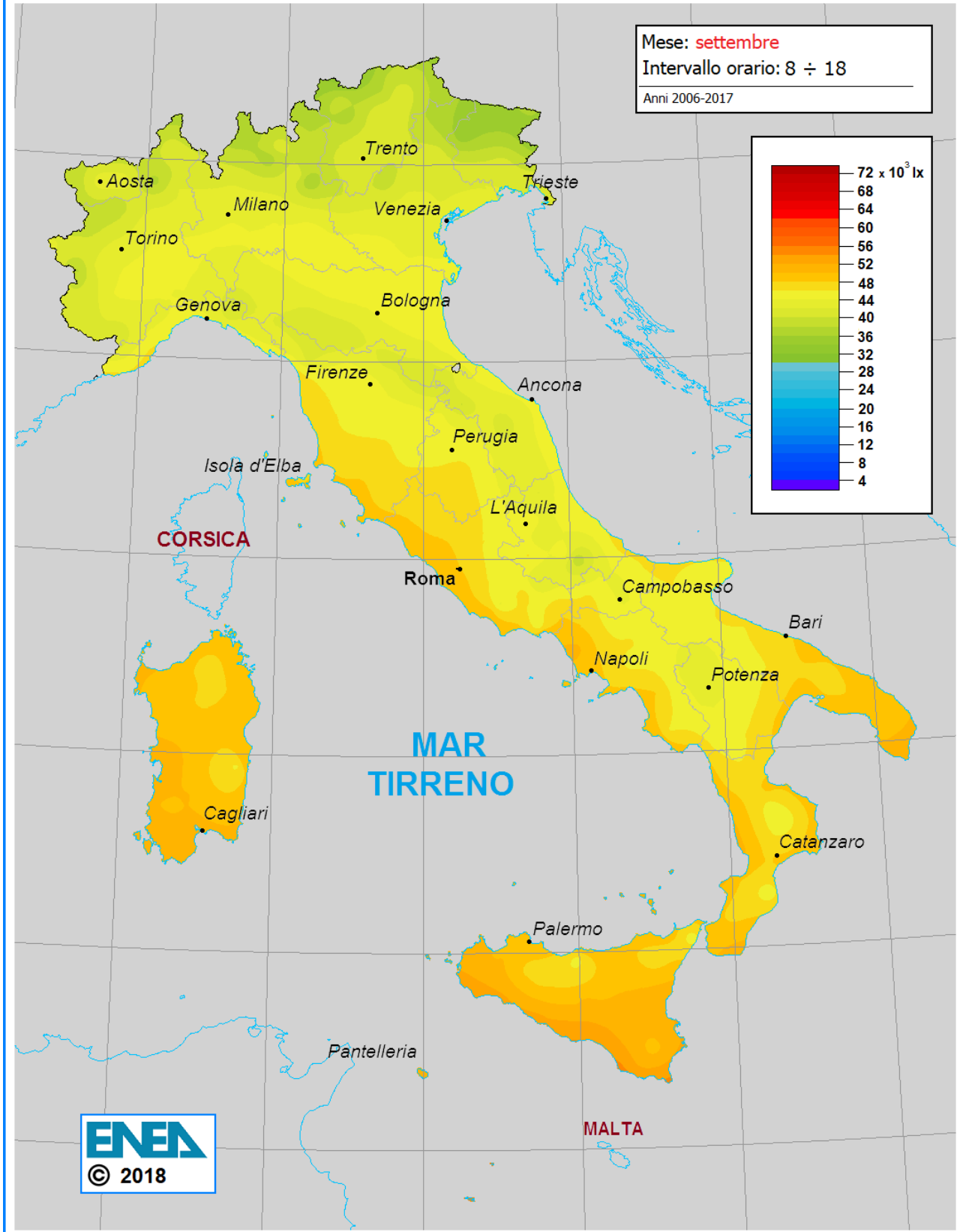
Carta dell'illuminamento naturale *globale orizzontale*

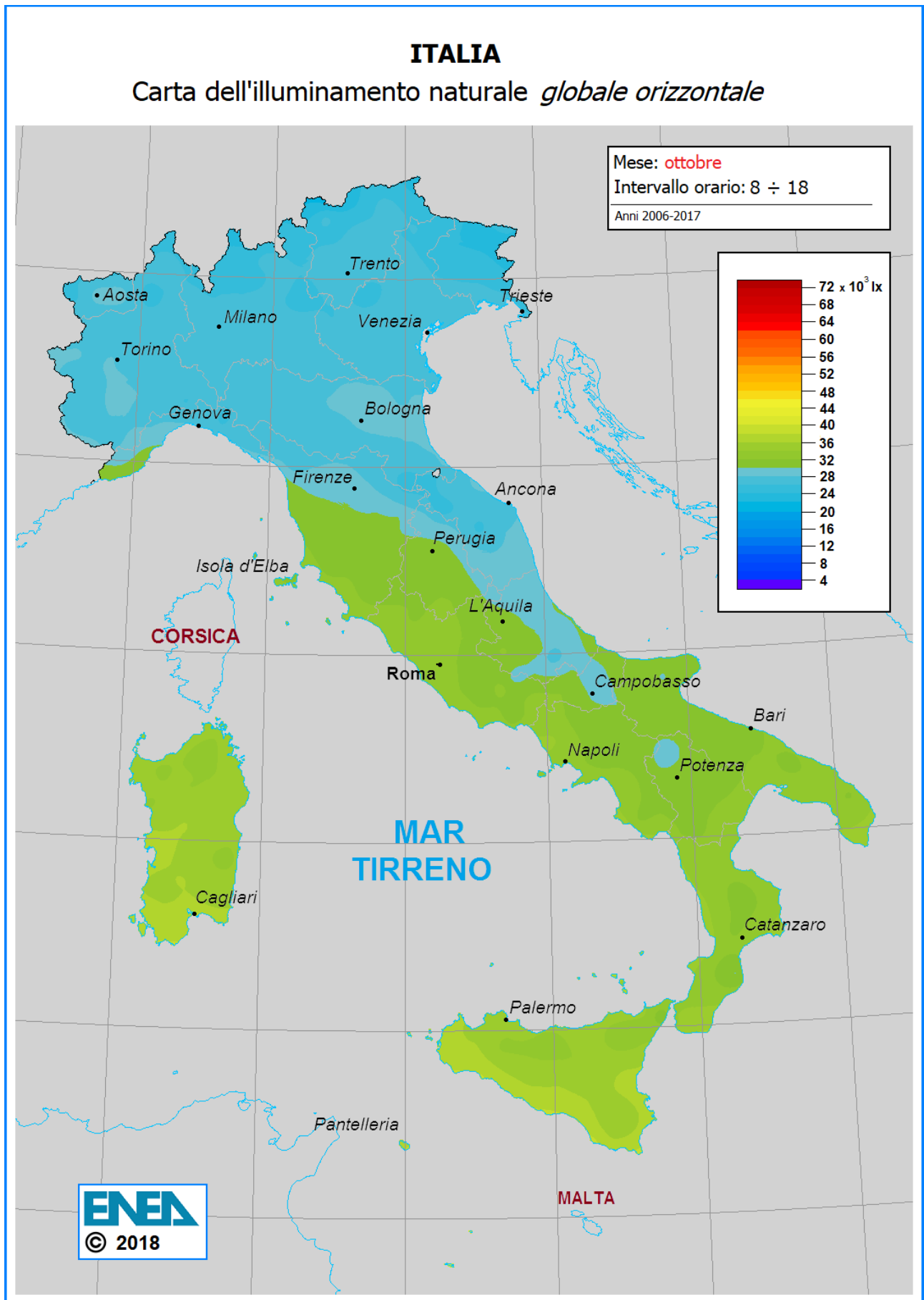




ITALIA

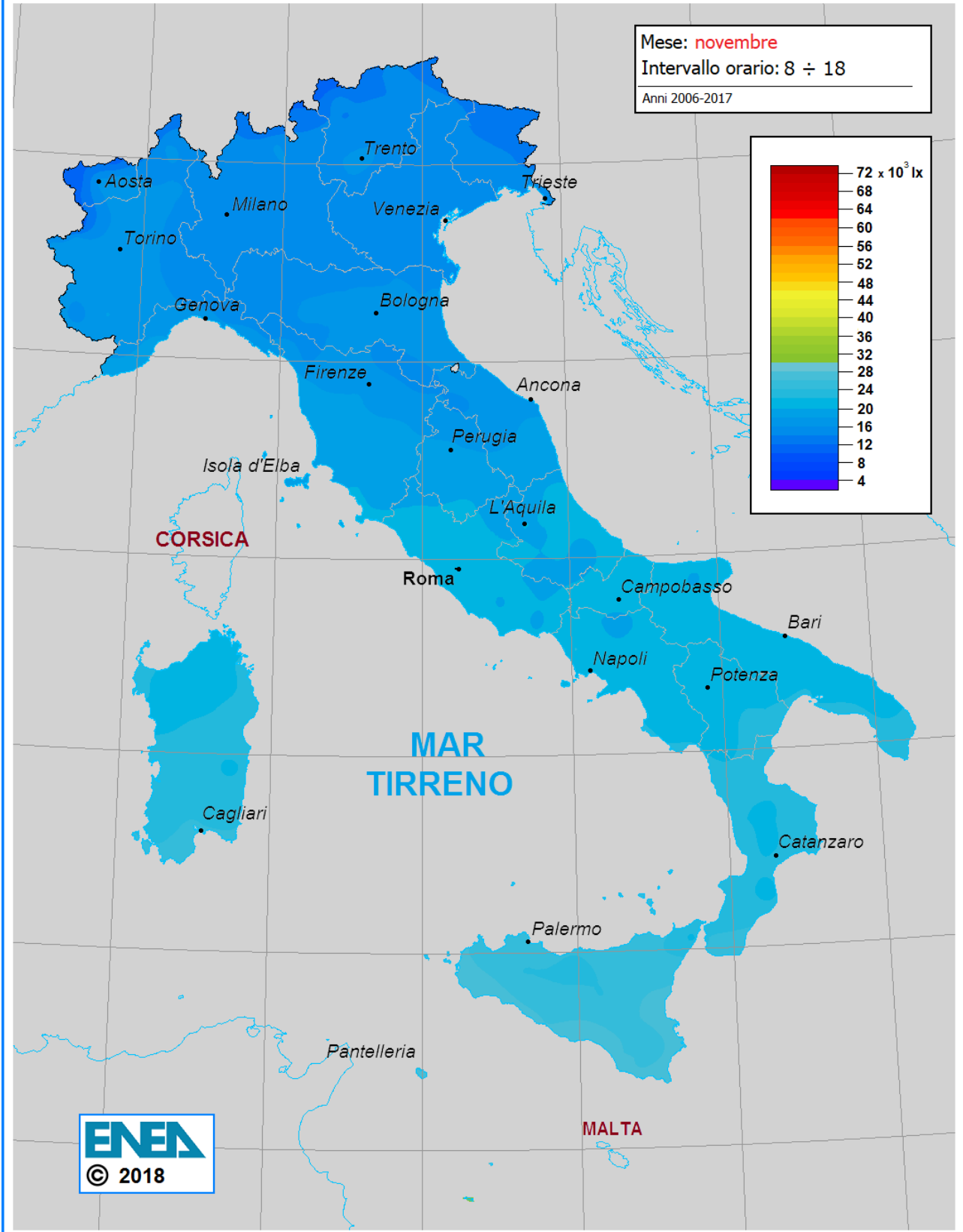
Carta dell'illuminamento naturale *globale orizzontale*

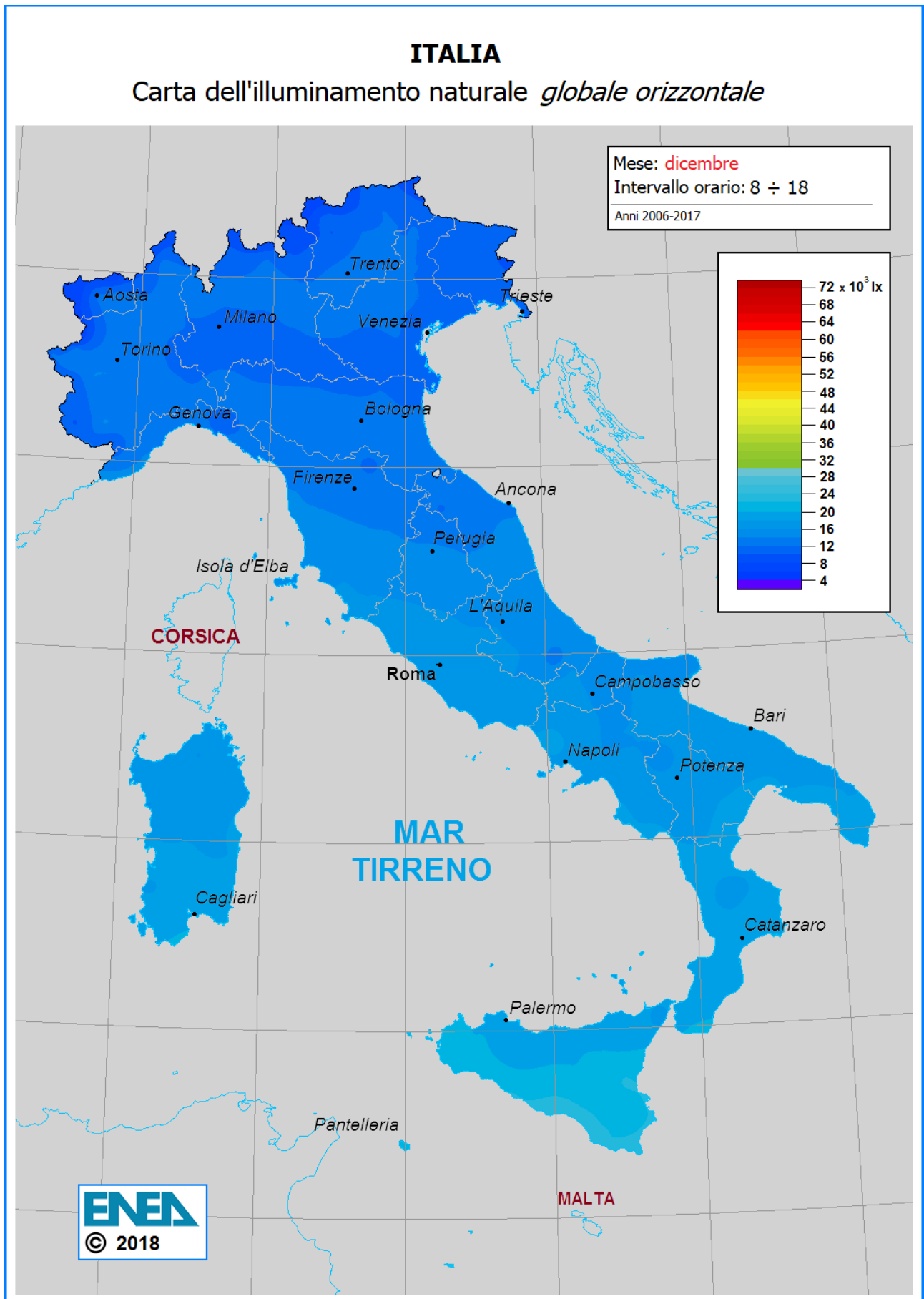




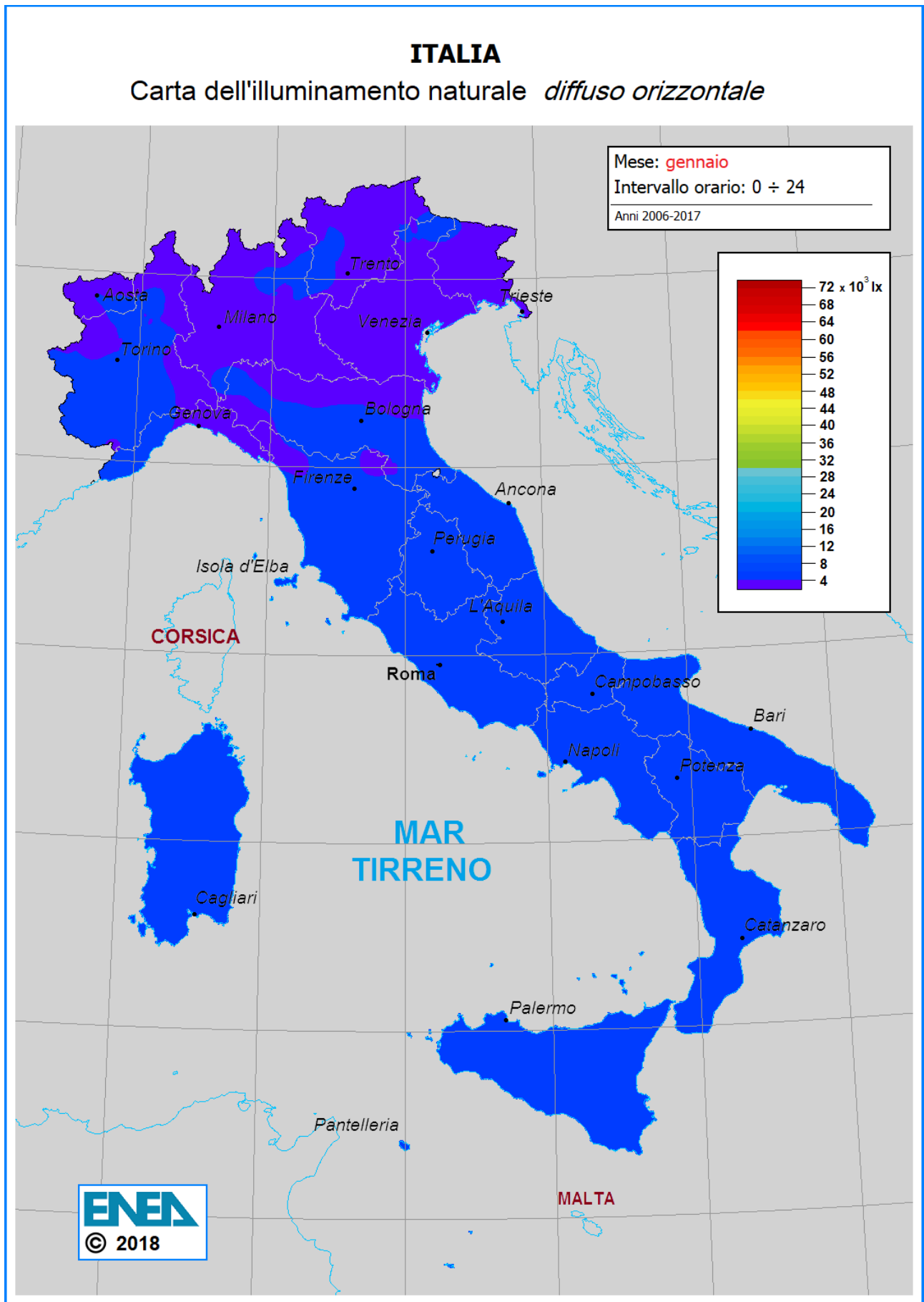
ITALIA

Carta dell'illuminamento naturale *globale orizzontale*



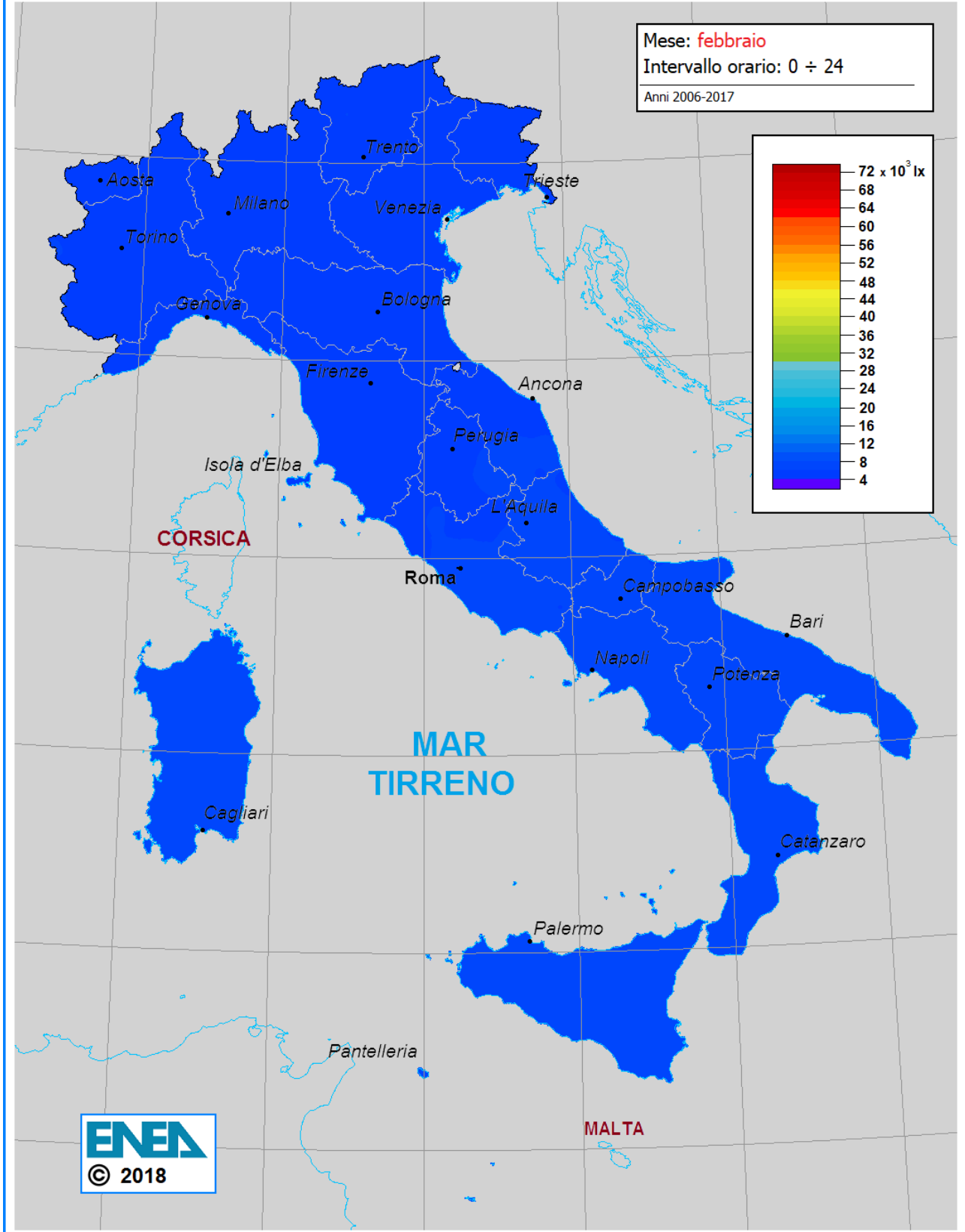


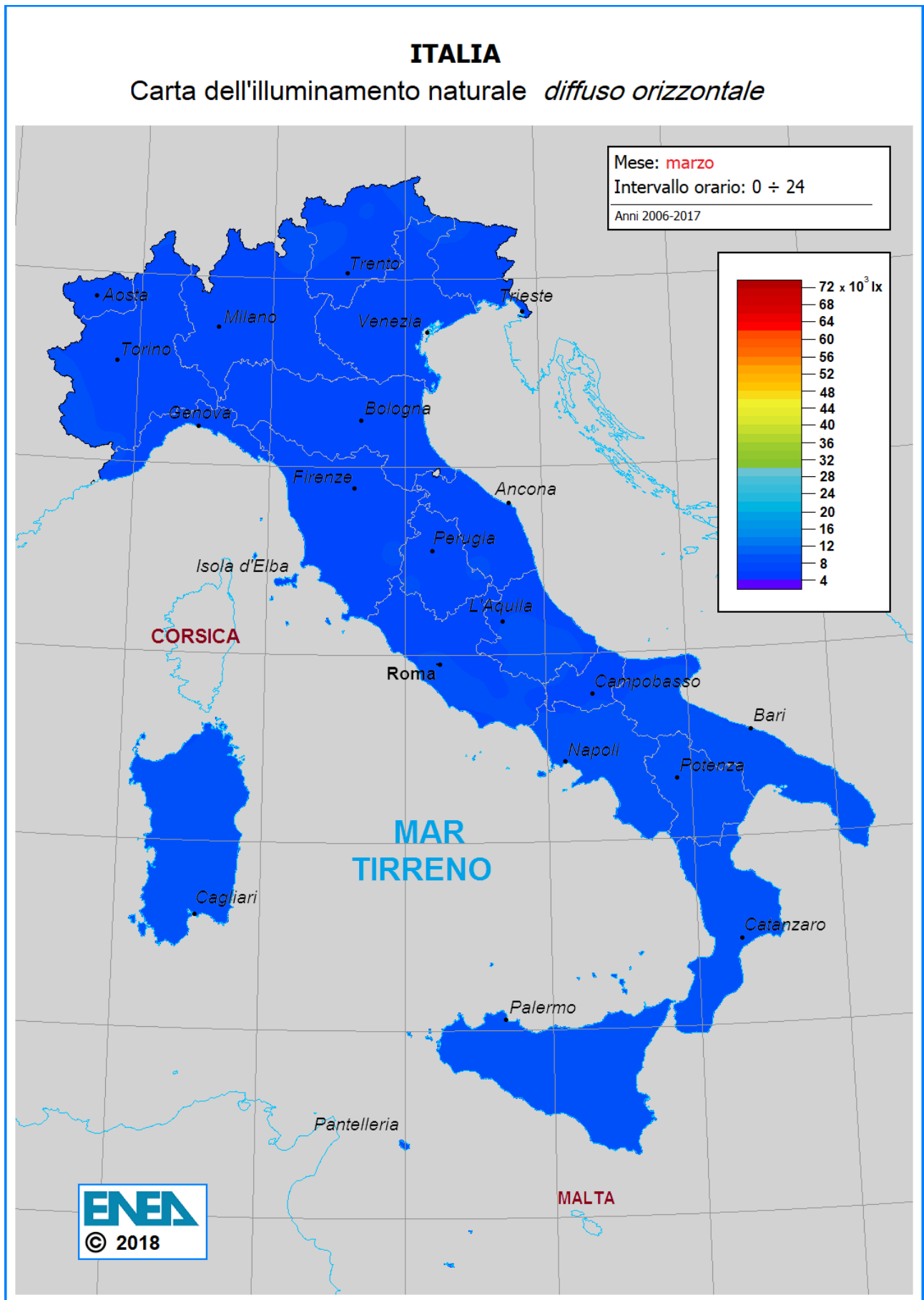
A.2.c Mappe mensili dell'illuminamento diffuso orizzontale per la fascia oraria 0÷24



ITALIA

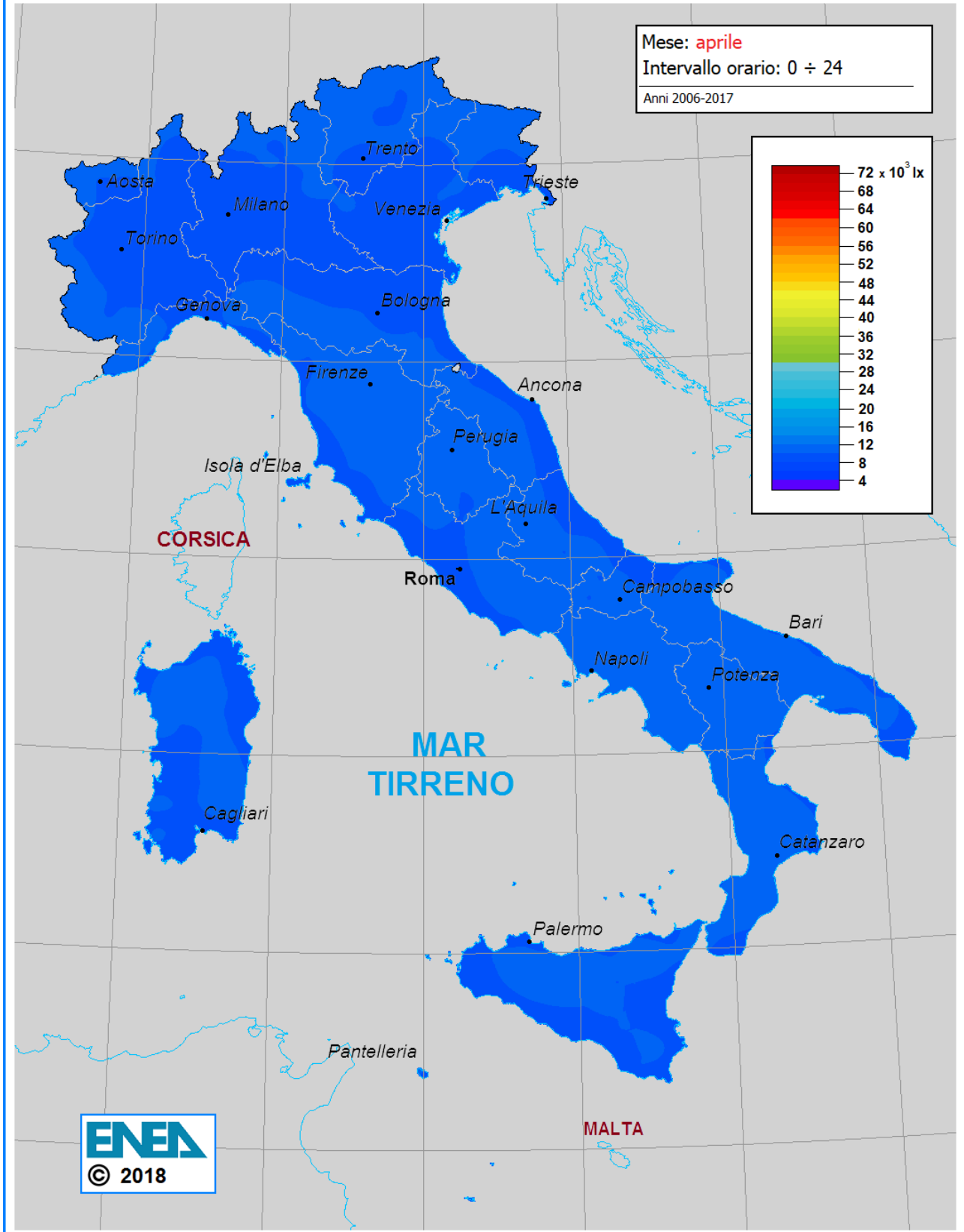
Carta dell'illuminamento naturale *diffuso orizzontale*

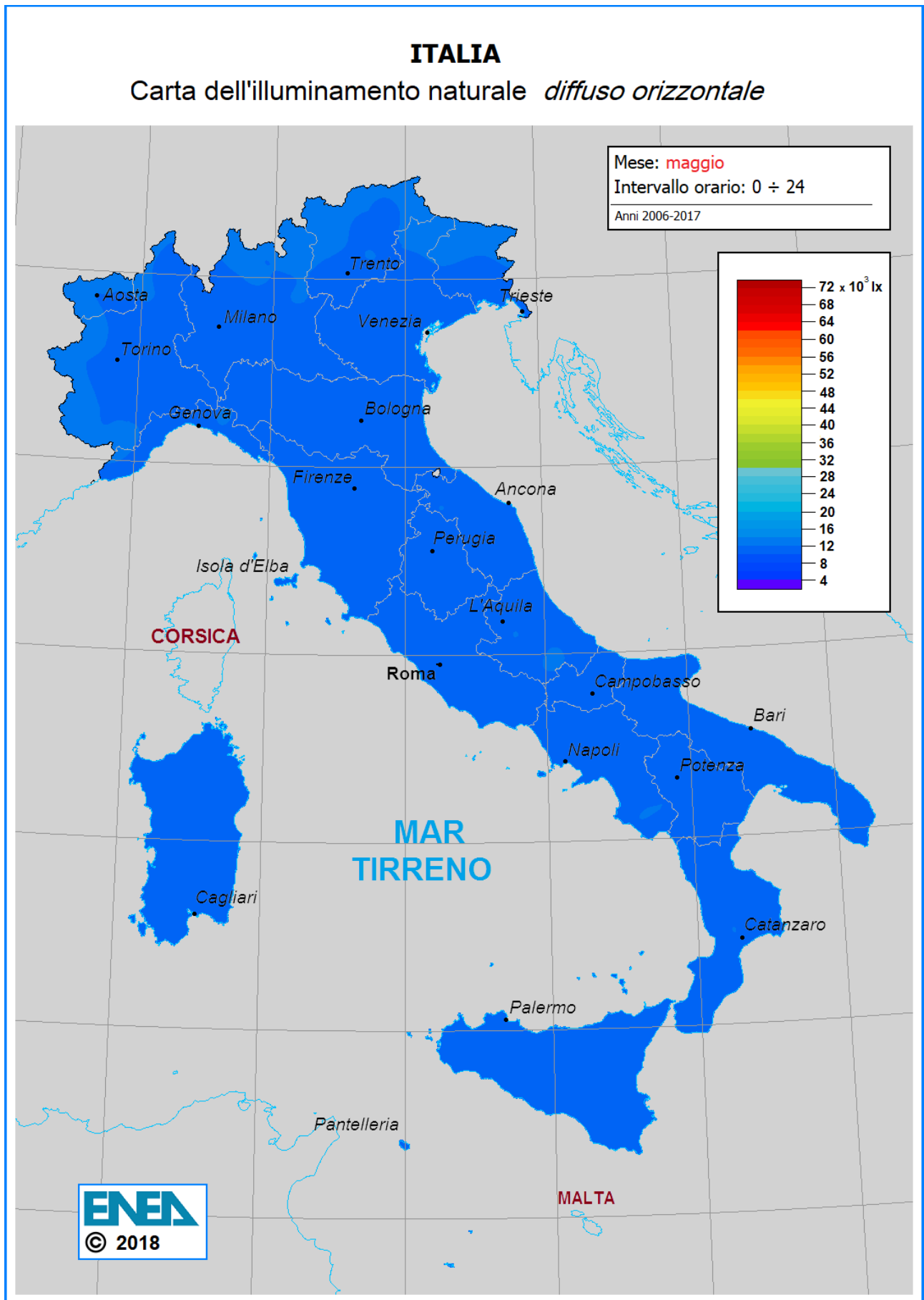




ITALIA

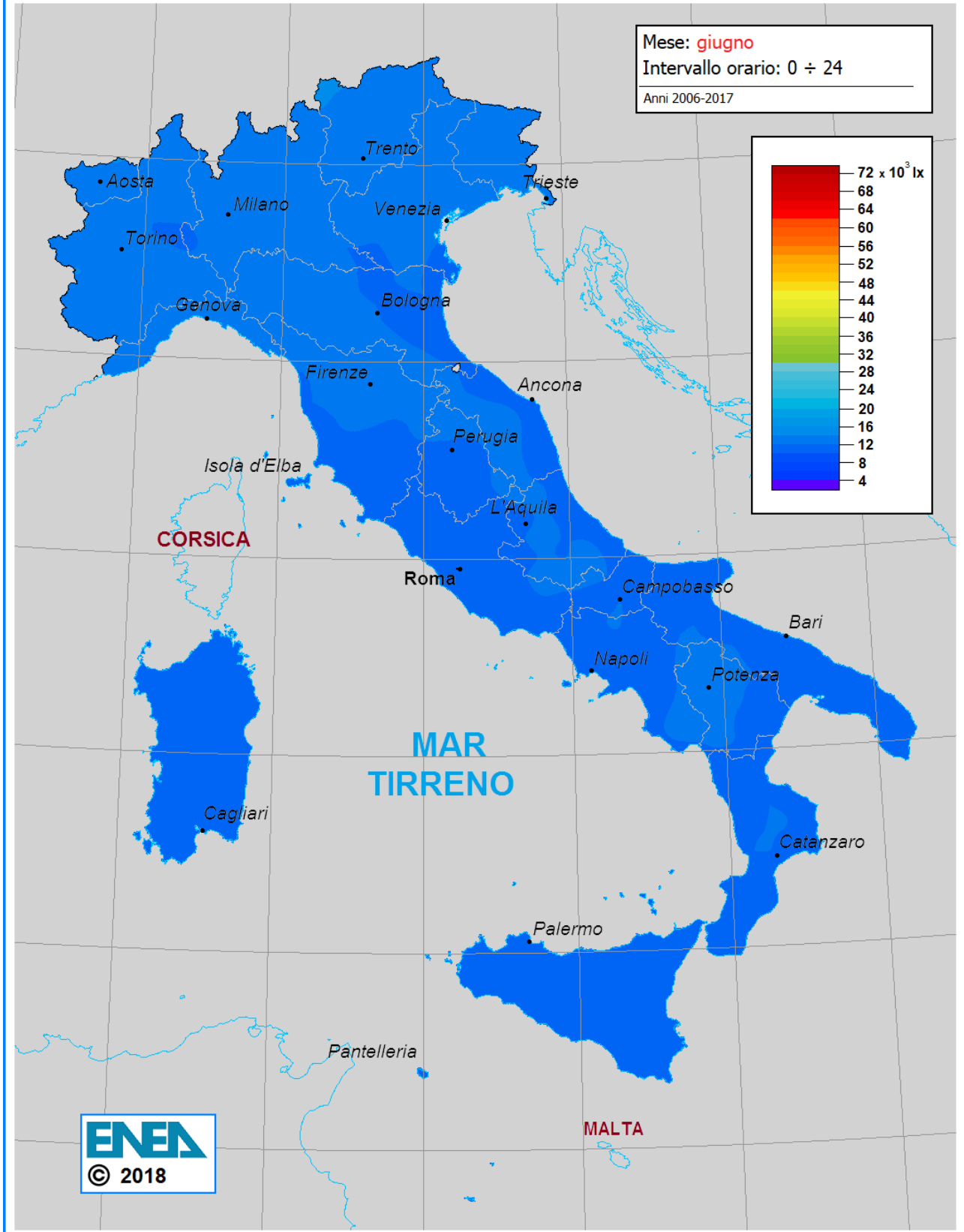
Carta dell'illuminamento naturale *diffuso orizzontale*

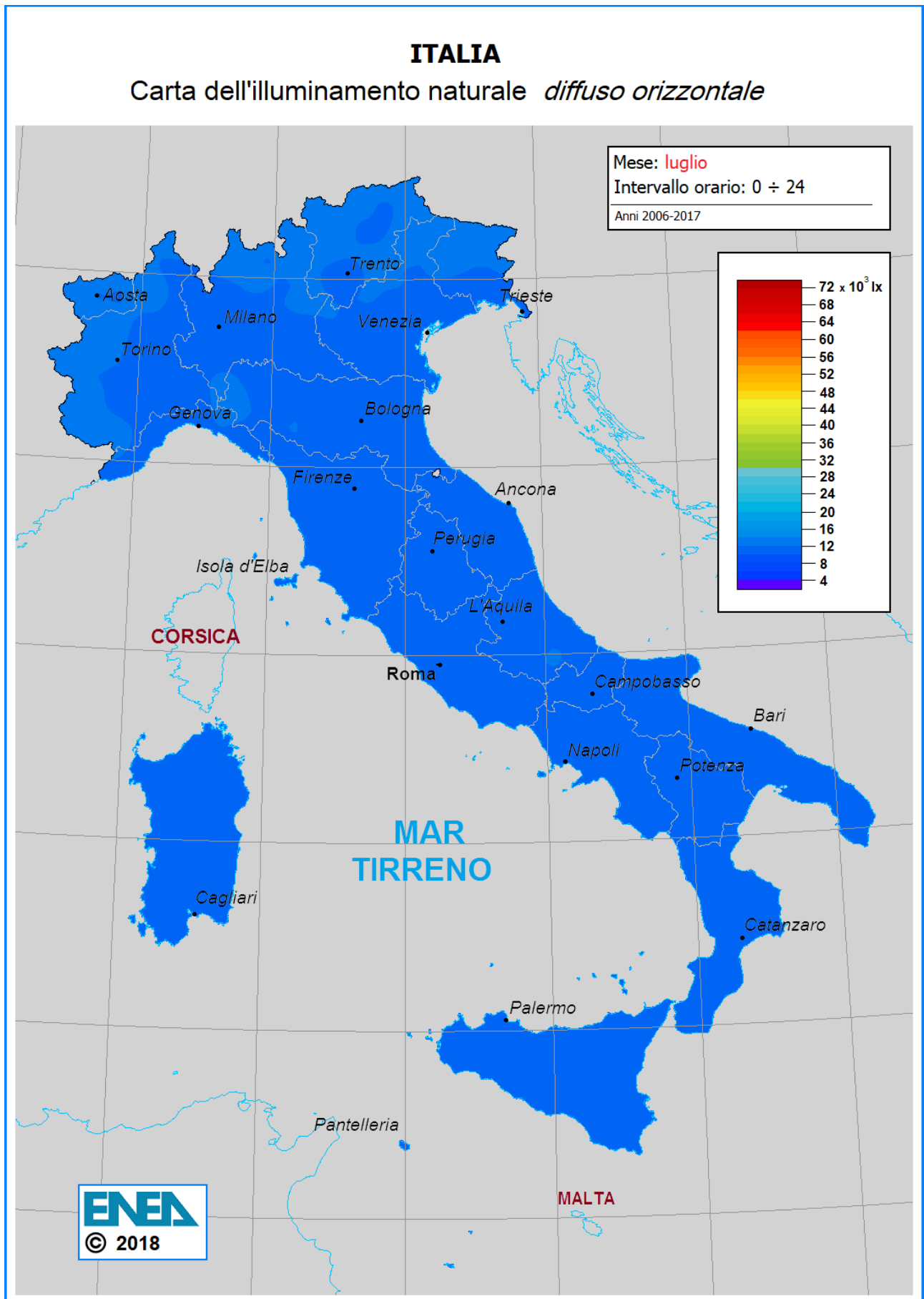




ITALIA

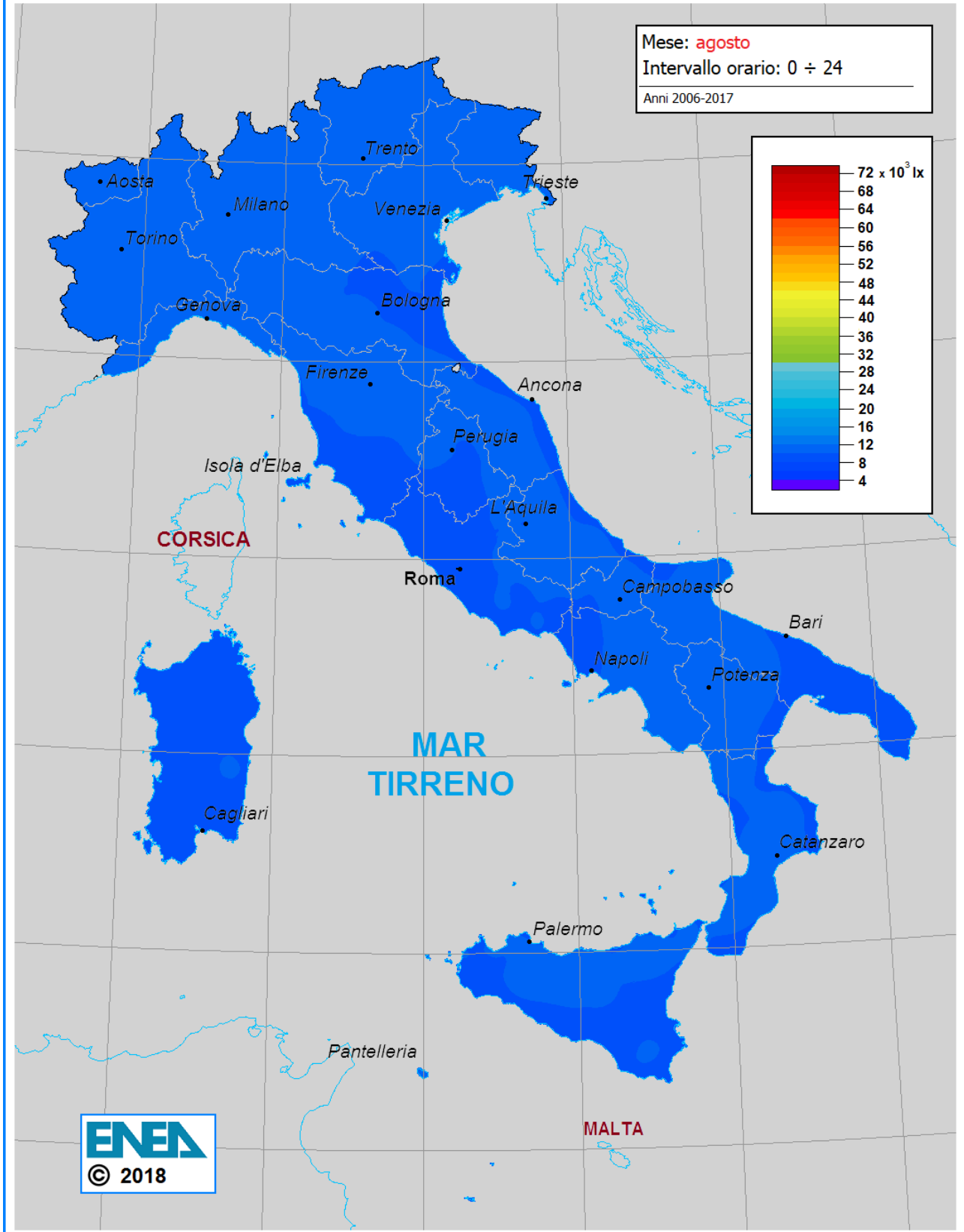
Carta dell'illuminamento naturale *diffuso orizzontale*

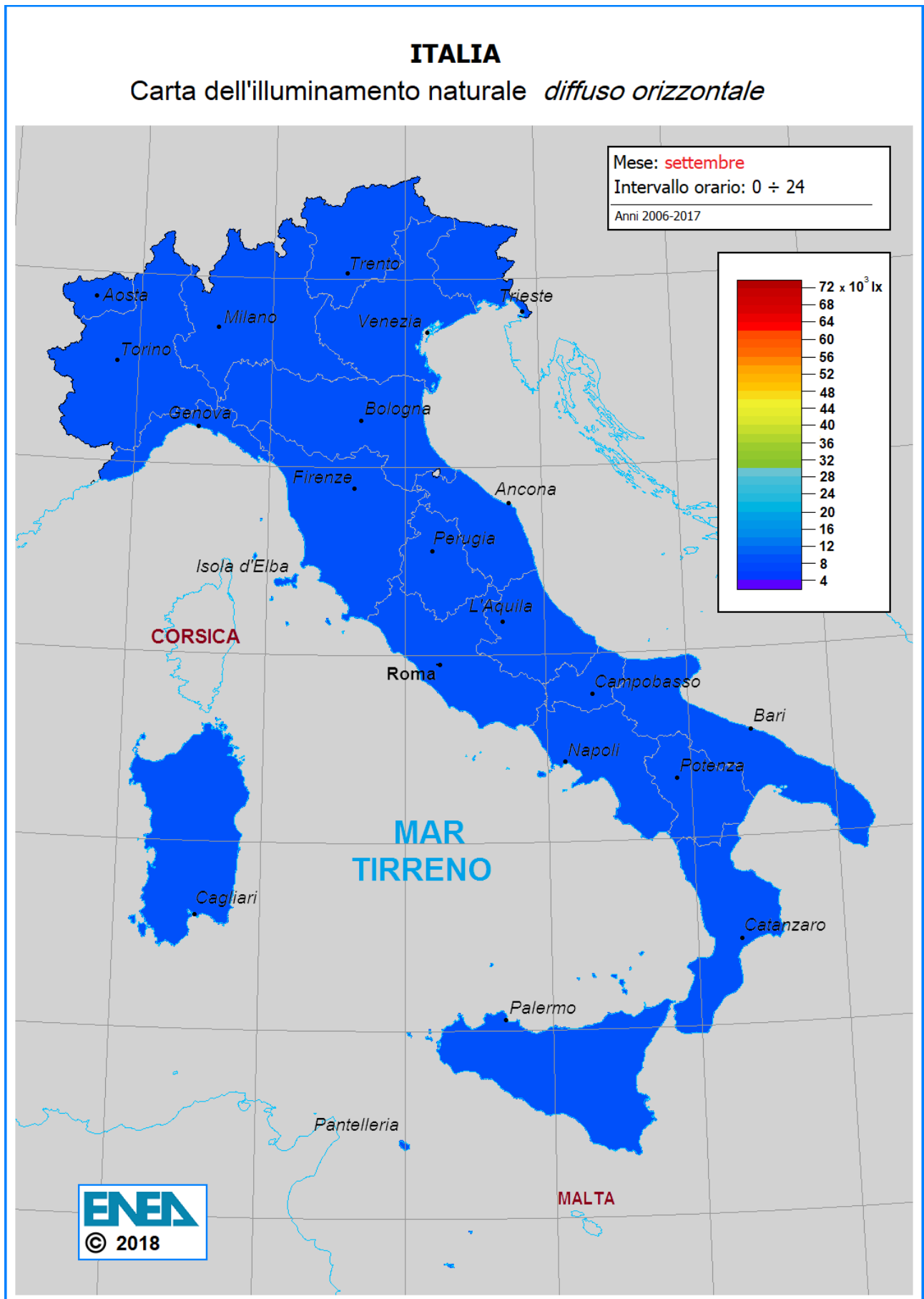




ITALIA

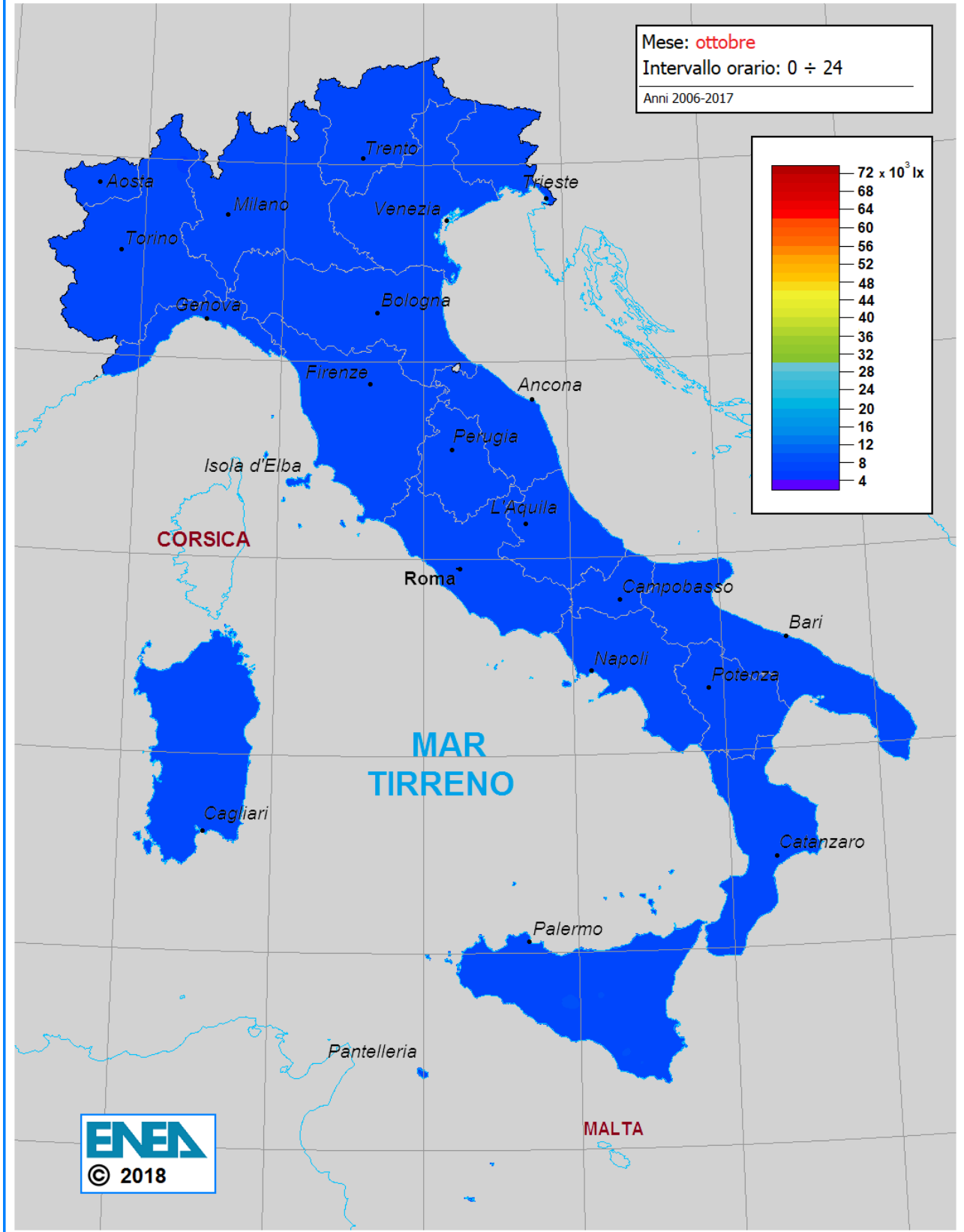
Carta dell'illuminamento naturale *diffuso orizzontale*





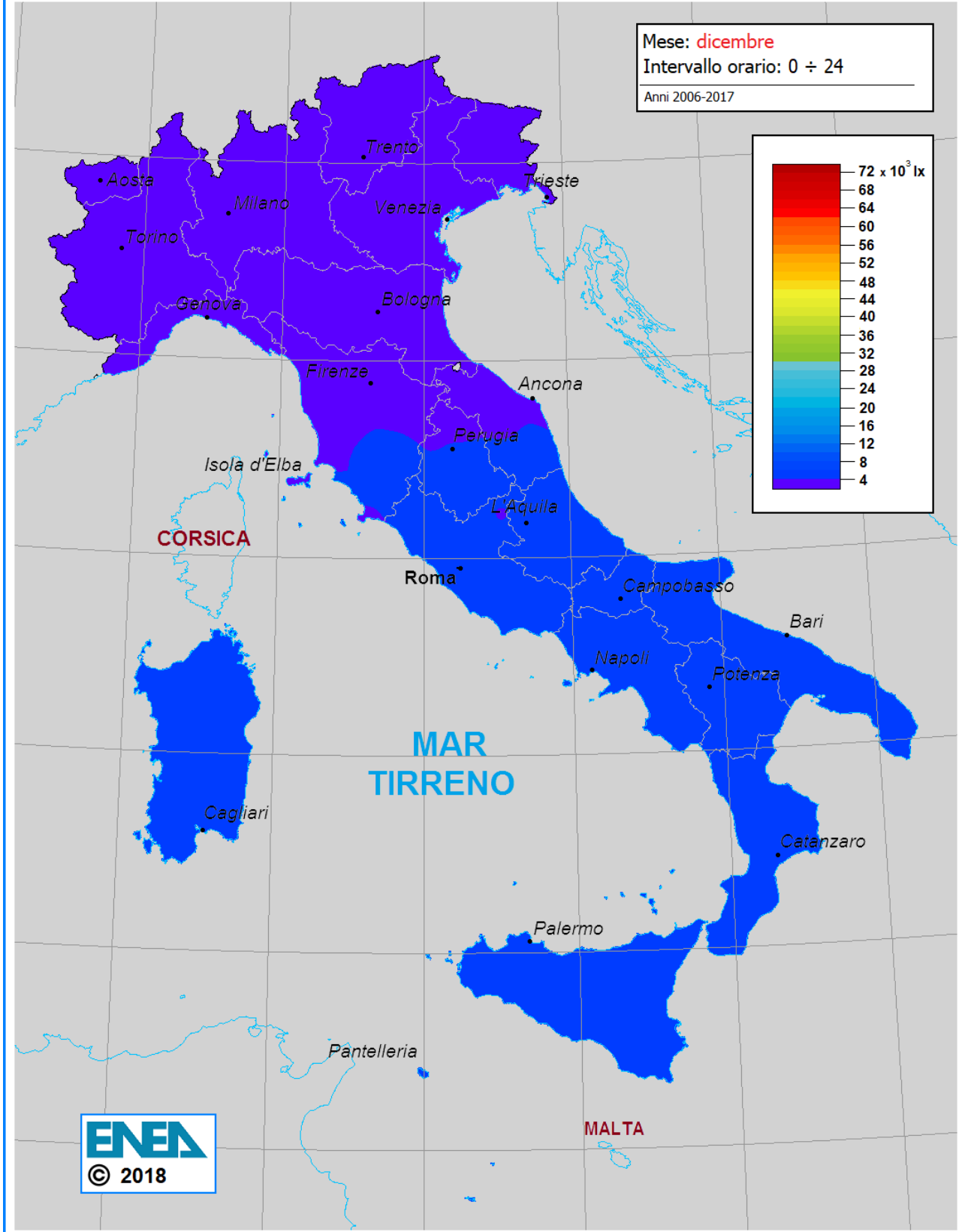
ITALIA

Carta dell'illuminamento naturale *diffuso orizzontale*



ITALIA

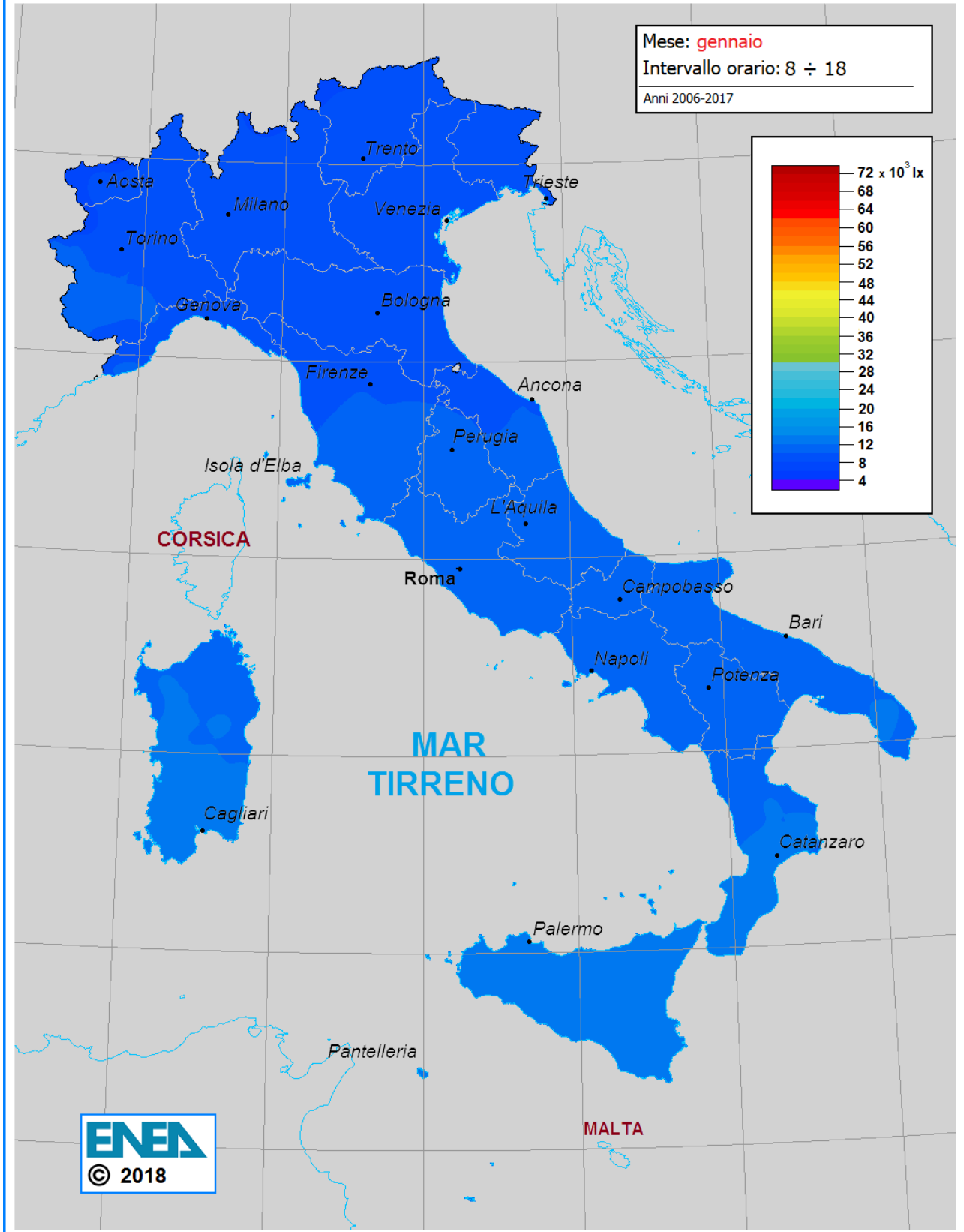
Carta dell'illuminamento naturale *diffuso orizzontale*

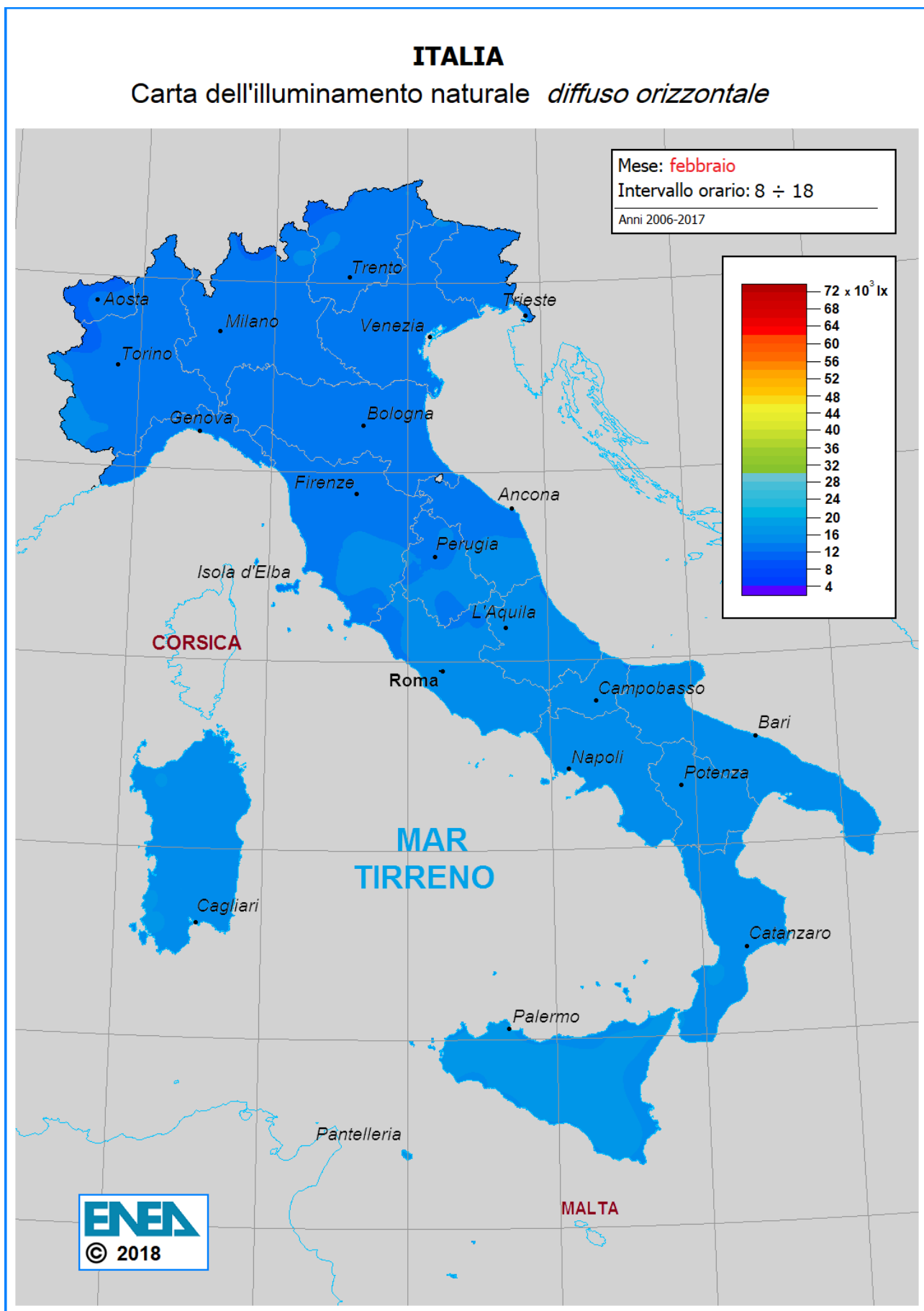


A.2.d Mappe mensili dell'illuminamento diffuso orizzontale per la fascia oraria 8÷18

ITALIA

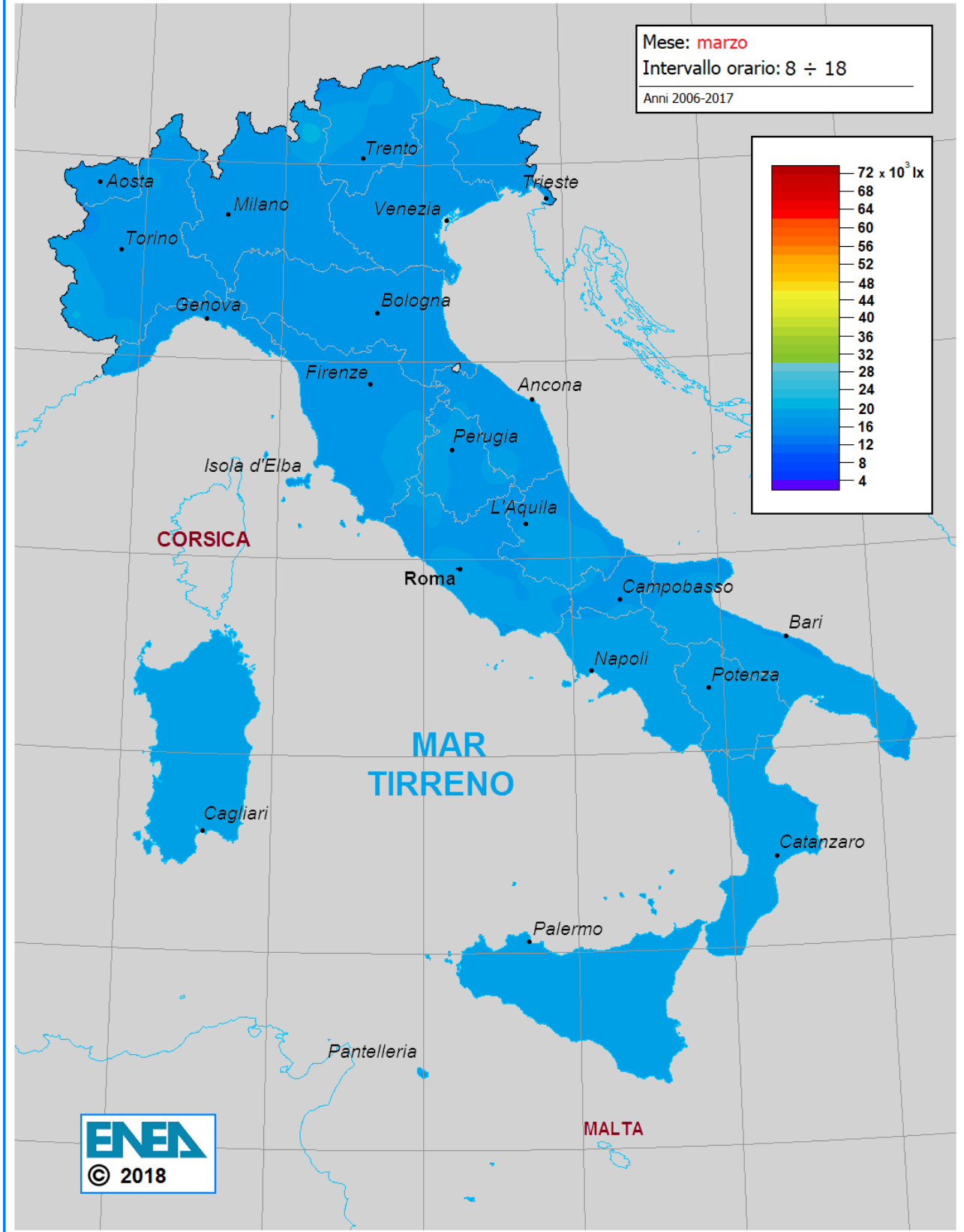
Carta dell'illuminamento naturale *diffuso orizzontale*

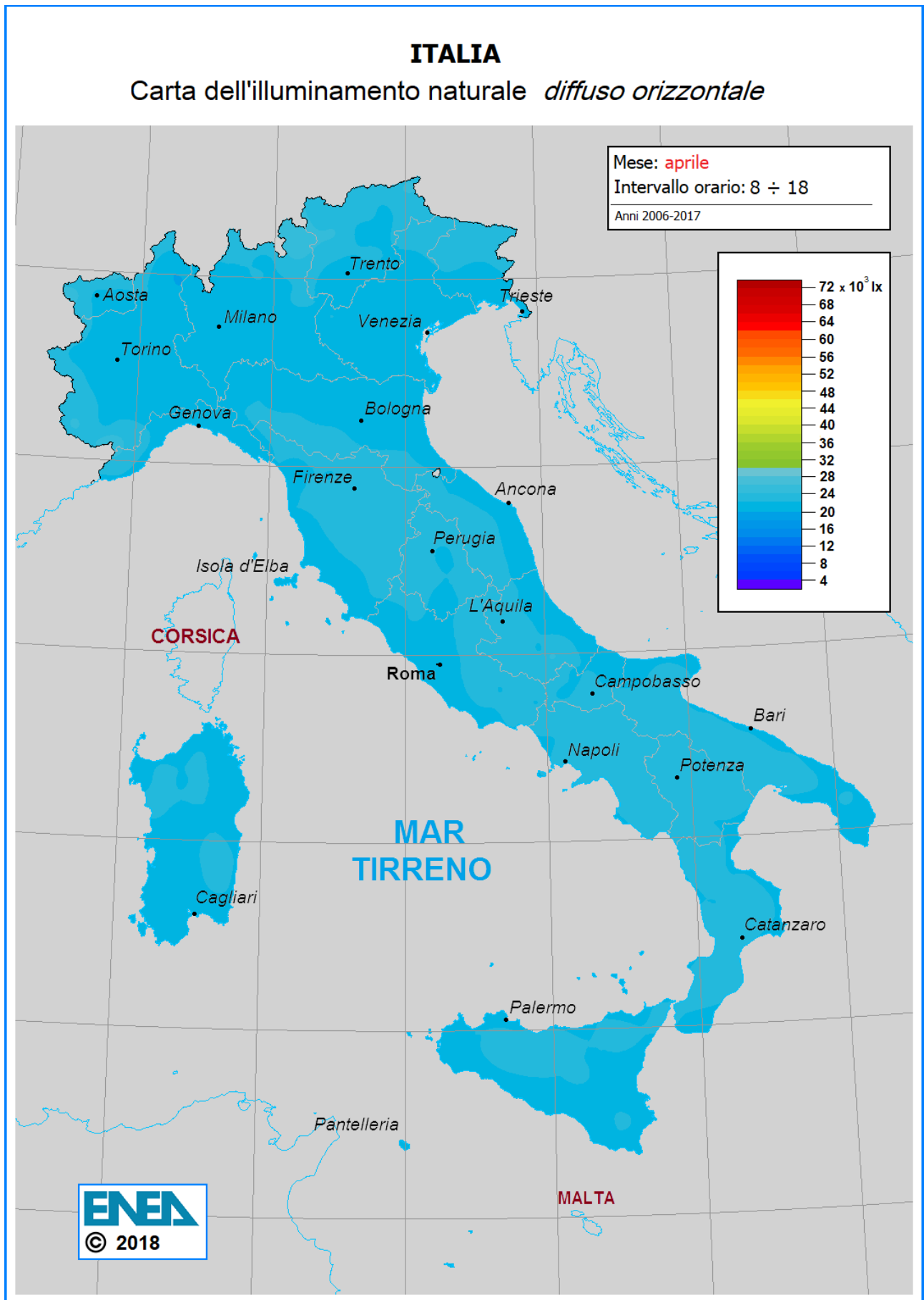




ITALIA

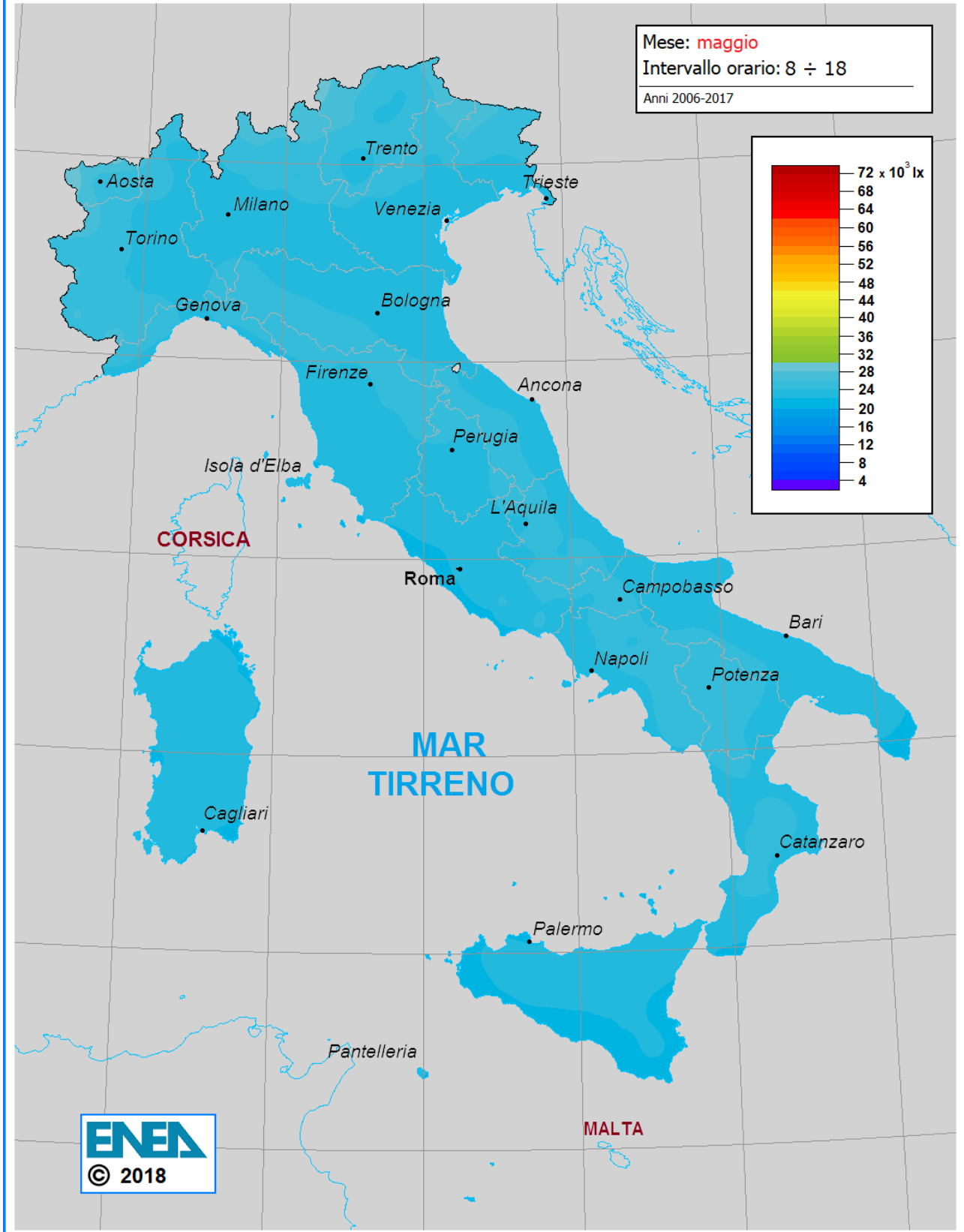
Carta dell'illuminamento naturale *diffuso orizzontale*

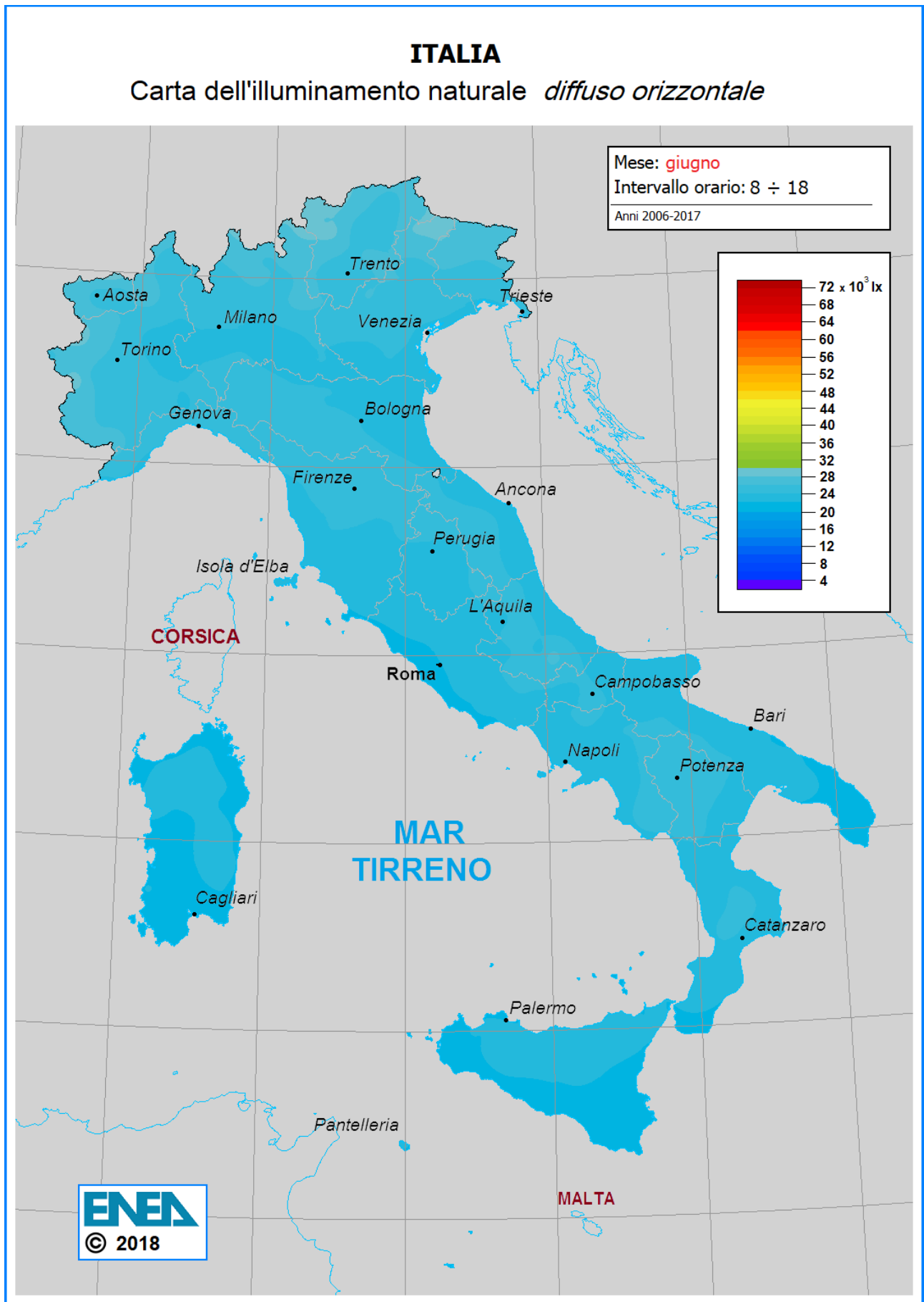




ITALIA

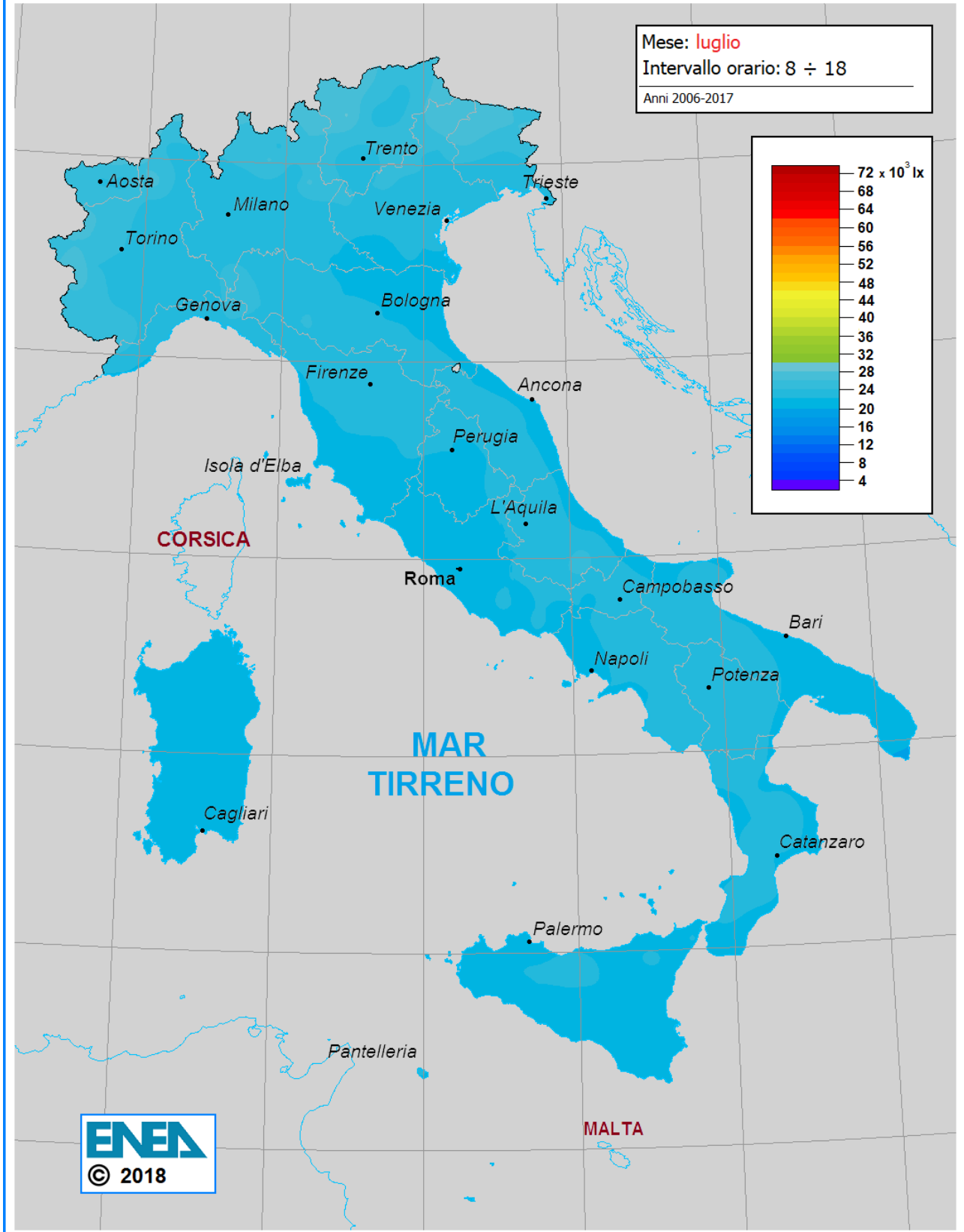
Carta dell'illuminamento naturale *diffuso orizzontale*

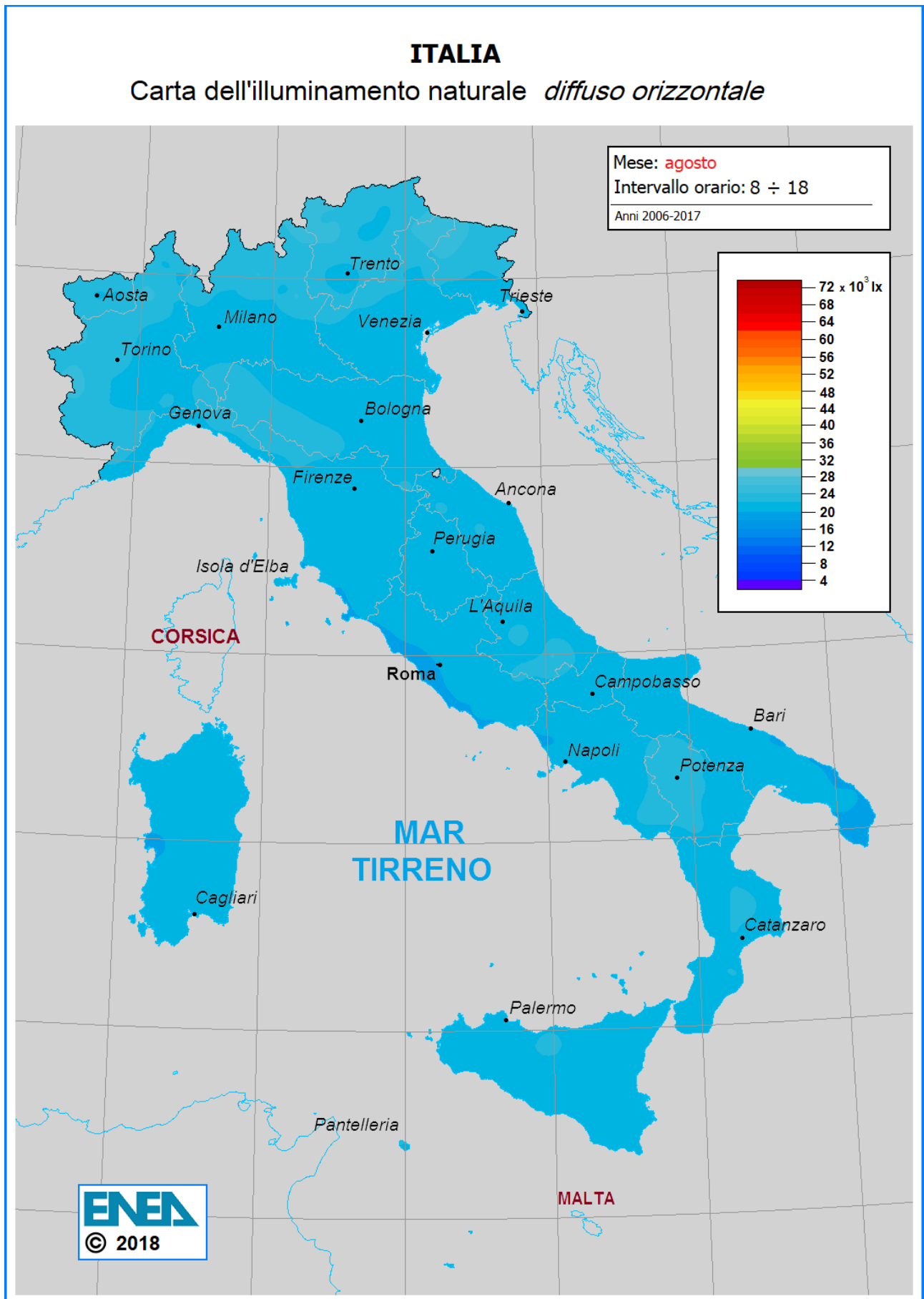




ITALIA

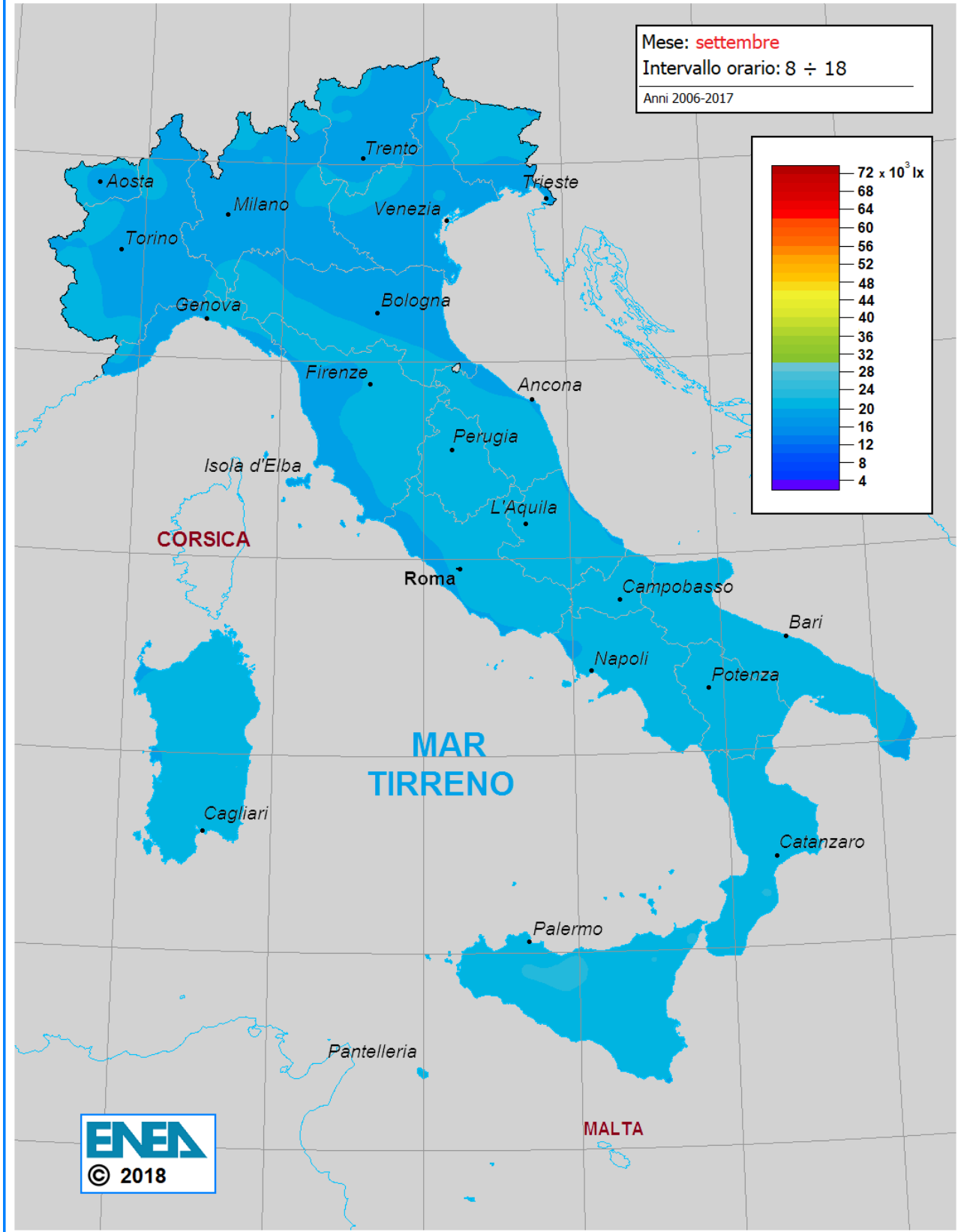
Carta dell'illuminamento naturale *diffuso orizzontale*

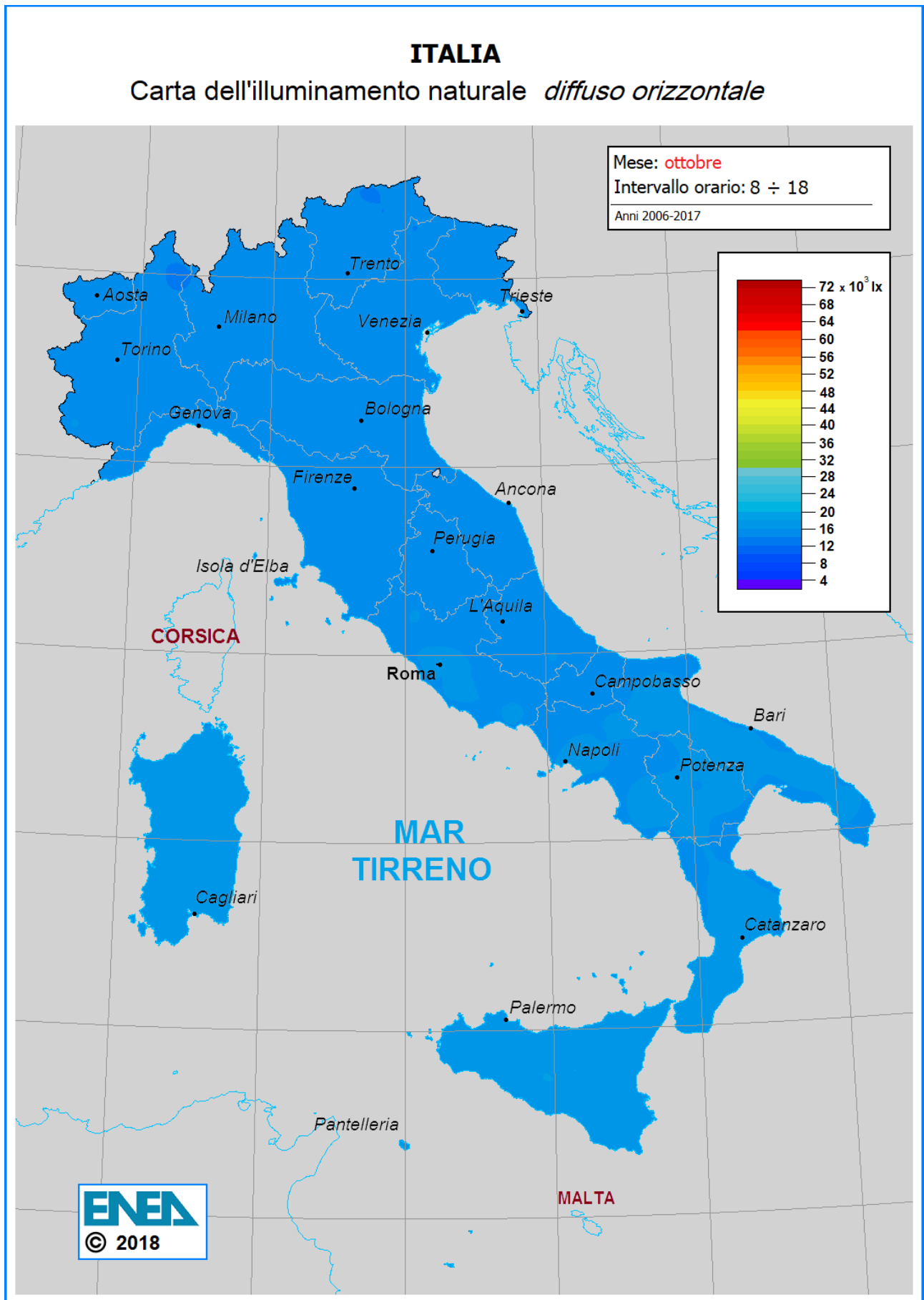




ITALIA

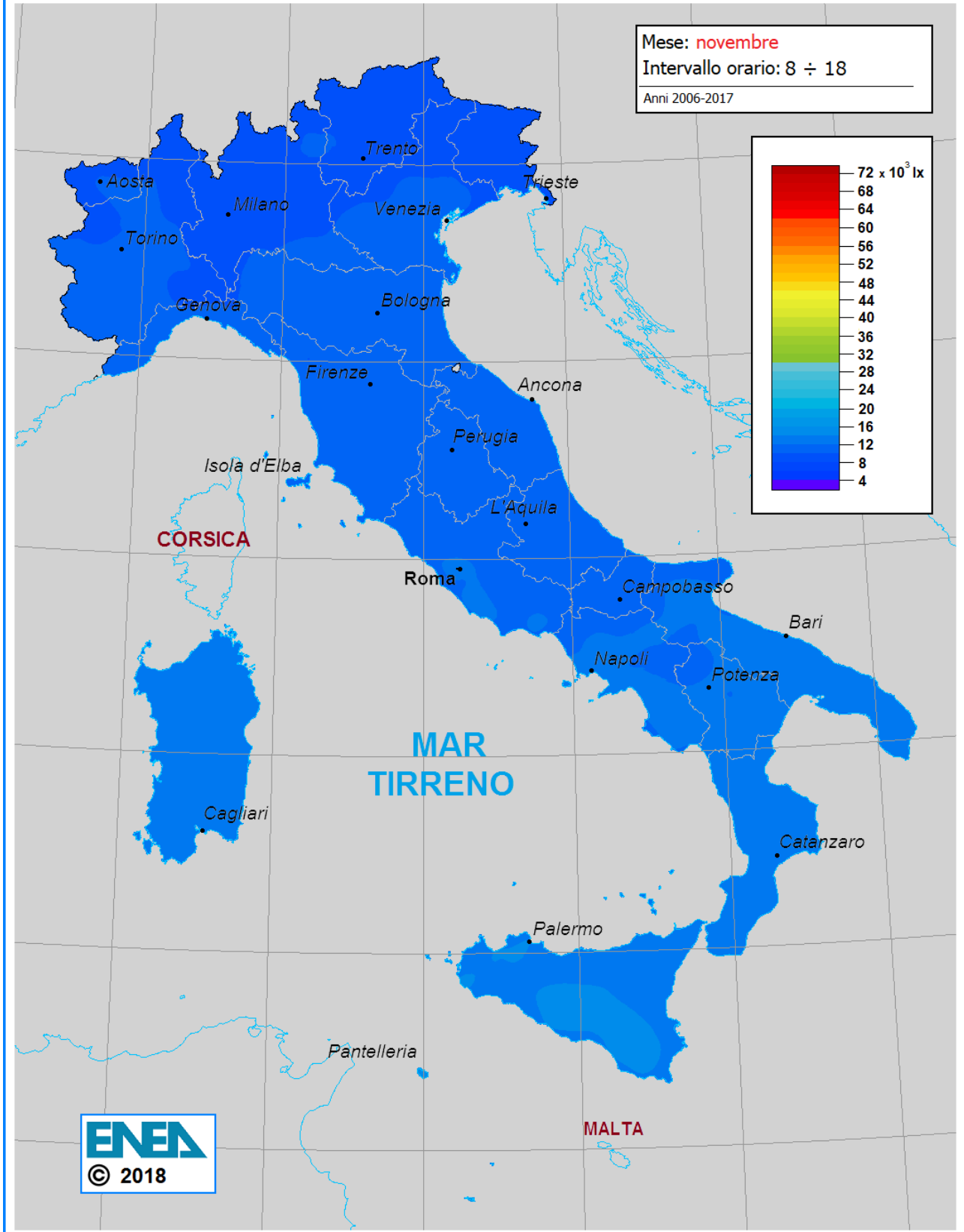
Carta dell'illuminamento naturale *diffuso orizzontale*

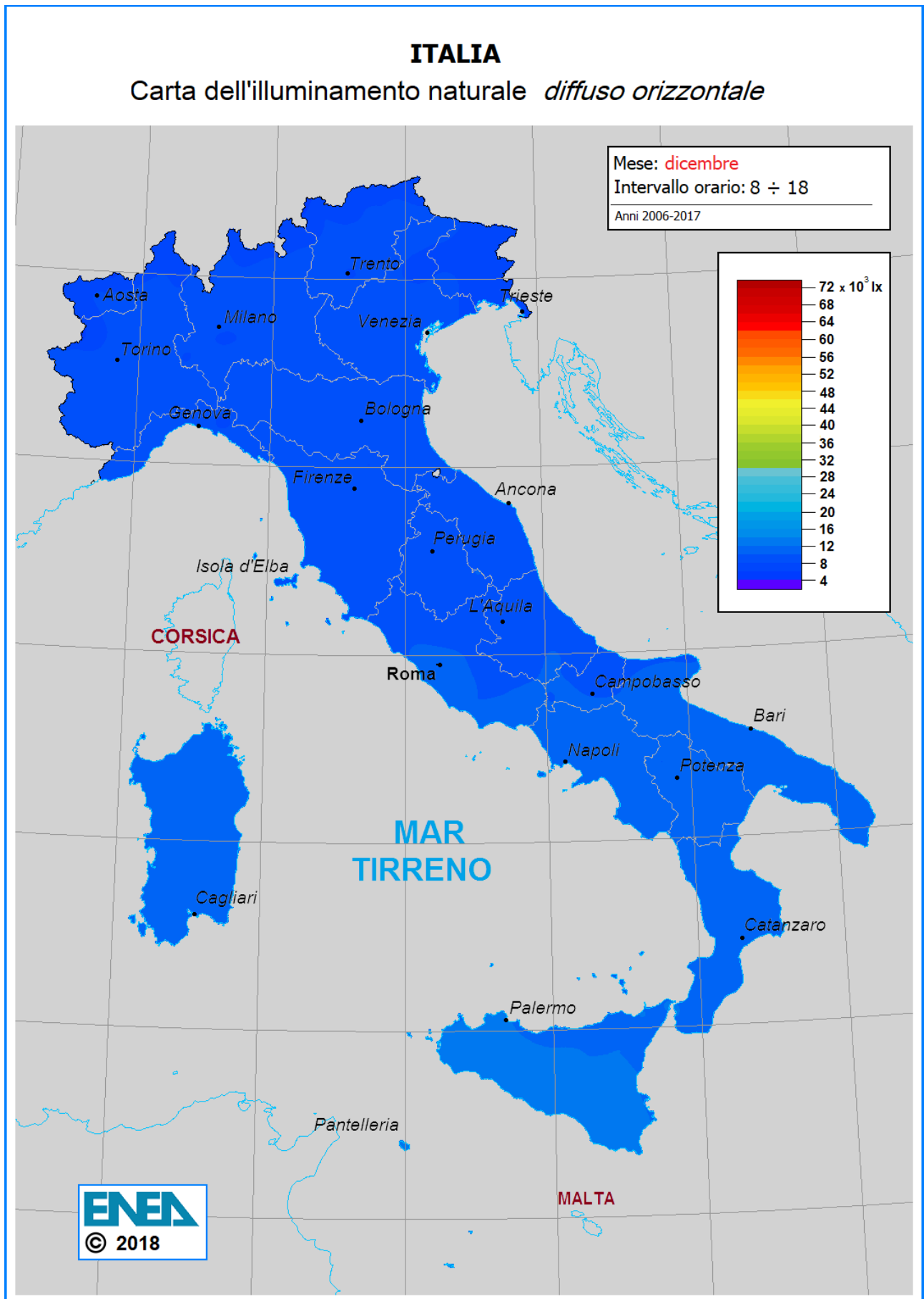




ITALIA

Carta dell'illuminamento naturale *diffuso orizzontale*





Sigle, abbreviazioni, grandezze, unità di misura

AMTIN	Anno meteorologico tipico per l'illuminamento naturale
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
IDW	Inverse Distance Weight (metodo dei valori pesati con l'inverso della distanza)
MISE	Ministero dello sviluppo economico
nZEB	Nearly Zero Energy Buildings / Edifici a consumo energetico quasi nullo
SI	Sistema internazionale di unità di misura
TIFF	Tagged Image File Format
UTM	[proiezione] Universale trasversa di Mercatore
WGS84	World World Geodetic System, versione 1984

Bibliografia e sitografia / References

- 1 Communication from the Commission of 3 March 2010 - Europe 2020. A strategy for smart, sustainable and inclusive growth [COM(2010) 2020 final – Not published in the Official Journal].
- 2 Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions of 8 March 2011 – Energy Efficiency Plan 2011 [COM(2011) 109 final – Not published in the Official Journal].
- 3 Piano d'Azione Italiano per l'Efficienza Energetica (2013).
- 4 Energy performance of buildings EU Directive (EPBD2) 2010/21/EU.
- 5 EC (European Commission), www.ec.europa.eu/comm/energy_transport/atlas/html/buildings.html, 2007.
- 6 DOE (U.S. Department of Energy). Building Energy Data Book available from: <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov/>, 2009.
- 7 P.A. Enkvist, T. Nauclic e J. Rosander J, *A cost curve for greenhouse gas reduction: a global study of size and cost of measures to reduce greenhouse gas emissions yields important insights for businesses and policy makers*, McKinsey Quarterly: the online journal of McKinsey & Co 1, 2007.
- 8 M.C. Dubois e Å. Blomsterberg, *Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review*, Energy and Buildings 43 (2011) 2572–2582.
- 9 EN 15193:2007. Energy Performance of Buildings. Energy Requirements for Lighting.

- 10 D. Iatauro, P. Signoretti, L. Terrinoni e M. Zinzi, *Artificial lighting energy consumption in buildings: a comparison between EN 15193 and an alternative method based on the Dresler diagrams*. International Workshop Visual quality and energy efficiency in indoor lighting: today for tomorrow, Rome, Italy, 2008.
- 11 M. Zinzi e A. Mangione, *The daylighting contribution in the electric lighting energy uses: EN standard and alternative method comparison*, 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015, Turin
- 12 www.satel-light.com
- 13 F. Spinelli, L. Terrinoni, M. Zinzi, D. Iatauro, P. Signoretti, *Costruzione degli anni meteorologici tipici per l'illuminamento naturale (AMNTIN) per il territorio nazionale e delle curve di disponibilità di luce naturale per la stima del fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale negli edifici*, ENEA, RdS/PAR2014/085
- 14 A. Mangione, F. Spinelli, D. Iatauro, P. Signoretti, L. Terrinoni, M. Zinzi, *Impact of Different Luminous Efficacy Models on a Climate Based Method for the Calculation of Lighting Energy Use in Not Residential Buildings*, International Scientific Conference "Environmental and Climate Technologies – CONECT 2016", Riga, Lettonia, Ottobre 2016.
- 15 F. Spinelli, L. Terrinoni, M. Zinzi, D. Iatauro, P. Signoretti, *Definizione di un modello nazionale di efficacia luminosa mediante la misura dei valori di illuminamento naturale e di radiazione solare in tre località italiane*, ENEA, RdS/PAR2015/124
- 16 F. Spinelli, D. Iatauro, P. Signoretti, L. Terrinoni e M. Zinzi (2017), "Analysys of Daylight Availability in Italy trough Different Luminous Efficacy Models", *International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry – SHC 2017*, Abu Dhabi, October 2017
- 17 L. Robledo e A. Soler (2000), *Luminous efficacy of global solar radiation for clear skies*, *Energy Conversion & Management*, **41** (2000):1769-1779.
- 18 L. Robledo e A. Soler (2001), *Luminous efficacy of direct solar radiation for all sky types*, *Energy*, **26** (2001):669-677.
- 19 L. Robledo e A. Soler (2001), *On the luminous efficacy of diffuse solar radiation*, *Energy Conversion & Management*, **42** (2001):1181-1190.
- 20 *SolarItaly – Atlante italiano della radiazione solare*, sito ENEA per il calcolo e la previsione della radiazione solare , <http://www.solaritaly.enea.it>.
- 21 F. Spinelli, L. Terrinoni, M. Zinzi, D. Iatauro e P. Signoretti (2017), *L'atlante italiano dell'illuminamento naturale. Mappatura del territorio nazionale con la redazione dell'anno tipico per 243 località*, ENEA, RdS/PAR2016/XXX.
- 22 V. Cima, R. Maseroli e L. Surace (2003), "Il processo di georeferenziazione dal telerilevamento ai GIS", *Atti della 7a Conferenza nazionale ASITA*, Verona, 28-31 ottobre 2003.