

Installazioni di comunicazione digitale

RENDICONTAZIONE

DELLA CAMPAGNA DI MISURA

E VERIFICA DEI RISPARMI

IN CONFORMITÀ A IPMVP - INTERNATIONAL PERFORMANCE
MEASUREMENT AND VERIFICATION PROTOCOL

Committente Publicis Srl

P.IVA 08518080158

Offerta prot.26182/lab del 10/03/2026

Conferma ordine n. 4502787601 del 17/03/2026

Periodo esecuzione 03/2026

Revisione n° 02

Luogo e Data Faenza 23/03/2026

Protocollo SE_174_2026

Responsabile: Dott. Ing. Massimo Bottacini

Approvazione: Direttore Tecnico Dott. Ing. Luca Laghi

Il presente documento è composto da n. **31 pagine** e non può essere riprodotto parzialmente, estrapolando parti di interesse a discrezione del committente, con il rischio di favorire una interpretazione non corretta dei risultati, fatto salvo quanto definito a livello contrattuale. L'originale della presente relazione è costituito da un documento informatico firmato digitalmente ai sensi della Legislazione Italiana applicabile. Certimac declina ogni responsabilità rispetto alla natura delle informazioni fornite dal committente.

Il Responsabile
Dott. Ing. Massimo Bottacini - PMVA



Il Direttore Tecnico
Dott. Ing. Luca Laghi

CERTIMAC soc.cons. a r.l.

via Granarolo, 62 | 48018 Faenza (RA)

Laboratori di prova: via Ravegnana 186 - Faenza (RA)

+39 0546 678513 - energia@certimac.it | www.certimac.it

Soci fondatori

ENEA | CNR



Sommario

1. EXECUTIVE SUMMARY	3
2. DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ DI MISURA	4
3. CRITERI DI DEFINIZIONE DELLA BASELINE E DEI PERIODI DI RIFERIMENTO E DI RENDICONTAZIONE	6
4. CRITERI DI DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI AGGIUSTAMENTO	6
5. SINTESI DEI DATI RACCOLTI	7
6. ALGORITMI DI CALCOLO DEL RISPARMIO ENERGETICO	25
7. INDICAZIONE DEGLI STRUMENTI DI MISURA UTILIZZATI	27
8. INDICAZIONE DEL RESPONSABILE DEL MONITORAGGIO	27
9. PROCEDURA DI CONTROLLO DELLA VALIDITÀ DEL PIANO NEL TEMPO	27
10. RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI	28
11. ALLEGATI	31

1. EXECUTIVE SUMMARY

Contesto

Il presente documento illustra i **risultati della campagna di misura dei parametri elettrici** in installazioni di comunicazione digitale del tipo a LED RGB SMB e precisamente in nr. 1 installazione del tipo Ledwall per installazione esterna (LED billboard) e nr. 1 installazione del tipo Ledwall per quinta da vetrina (Totem).

In base ai parametri elettrici misurati, tramite strumento analizzatore è stata registrata la potenza attiva assorbita al variare della configurazione cromatica delle immagini di tipo raster visualizzate dalle installazioni.

Scopo

Lo **scopo della campagna di misura** è di quantificare il risparmio energetico correlato alle scelte di design e ai conseguenti mix di colori delle immagini visualizzate, valutando l'impatto dovuto ai colori e alla relative temperature rappresentati nei LED RGB.

Protocollo di misura

La rendicontazione dei risparmi energetici è stata eseguita in conformità al protocollo **International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP)**, focalizzandosi sull'Opzione A ovvero l'isolamento dell'installazione con misurazione dei parametri chiave.

Modalità di stima dei risparmi

In conformità a quanto richiesto da IPMVP relativamente all'opzione A, è risultato necessario chiarire il contributo dei diversi parametri che influenzano la prestazione energetica in un LEDwall, dovuta principalmente a:

- un contributo dovuto alla gestione dell'hardware e ai relativi sistemi di controllo, che definiscono l'intervallo di valori della corrente che alimenta i LED e che possiamo sintetizzare come controllo della luminosità minima e massima prodotta dal LEDwall

- un contributo dovuto al valore di colore di ogni pixel/LED che forma l'immagine visualizzata, rappresentato dal parametro Average Picture Level (APL), metrica statistica che esprime la luminosità media di tutti i pixel di un frame raster rispetto a un segnale di bianco pieno. Un APL dello 0% indica uno schermo completamente nero, mentre un APL del 100% rappresenta un'immagine uniformemente bianca al massimo livello di segnale.

I risparmi energetici sono stati pertanto valutati in termini di differenza di consumo elettrico tra immagini in configurazione standard "bright", rappresentate da valori APL superiori al 50% e immagini in configurazione "dark", con APL inferiori al 50%

I dati rilevati attestano la corrispondenza, approssimabile alla linearità, tra design cromatico delle immagini e potenza elettrica assorbita, con percentuali di risparmio che, ad esempio, si attestano su ordini di grandezza di oltre il 70% passando da valori di APL del 75% a valori di APL del 35%.

2. DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ DI MISURA

L'attività di misura è stata eseguita il giorno 13 marzo 2026, registrando i parametri elettrici di 2 installazioni, predisposte con visualizzazione di cicli di immagini aventi intensità luminosa variabile:

Installazione nr. 1

- Luogo: Via Cadamosto n°1, Corsico (MI)
- Ambiente di installazione interno
- Orario misure: 10:30 ÷ 13:00
- Descrizione dell'installazione misurata:
 - LED wall - tecnologia SMD
 - dimensioni schermo 2000 x 1000 mm
 - definizione grafica 416 x 208 pixel - 1 LED per pixel
 - risoluzione grafica 43403 pixel/m²
 - pixel pitch 4.8 mm
- Frequenza di visualizzazione delle immagini: 10" su ciclo di 10'
- Frequenza di misurazione: 10"

Installazione nr. 2

- Luogo: Corso Buenos aires n°1, Milano
- Ambiente di installazione interno
- Orario misure: 16:45 ÷ 19:00
- Descrizione dell'installazione misurata
 - totem LED indoor - tecnologia SMD
 - dimensioni schermo 640 x 1920 mm
 - definizione grafica 256 x 768 pixel - 1 LED per pixel
 - risoluzione grafica 160.000 pixel/m²
 - pixel pitch 2.5 mm
- Frequenza di visualizzazione delle immagini: 30" su ciclo di 7' 30"
- Frequenza di misurazione: 10"

Per la determinazione dei risparmi energetici è stato applicato l'International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP), applicando l'Opzione A prevista dal protocollo stesso¹: "isolamento dell'attività di miglioramento dell'efficienza energetica con misura dei parametri principali". L'applicazione dell'opzione A al caso specifico determina il confine di misura in coincidenza del cavo di alimentazione elettrica del dispositivo oggetto di attività di efficientamento e prevede la misura del parametro principale, ossia la potenza elettrica attiva assorbita.

¹ IPMVP Concetti base – 2022

3. CRITERI DI DEFINIZIONE DELLA BASELINE E DEI PERIODI DI RIFERIMENTO E DI RENDICONTAZIONE

Il ciclo operativo tipico per le installazioni considerate comprende la visualizzazione di immagini in sequenza, con persistenza di ogni singola immagine nell'ordine della decina di secondi e durata del ciclo variabile, in funzione del numero di immagini visualizzate.

Dato lo scopo delle misure in oggetto, è stato adottato il criterio dei periodi di misura contigui, con alternanza di misure su cicli di visualizzazione in modalità bright, assunte come baseline di riferimento e misure con l'azione di efficientamento attivata, vale dire con configurazione dark, per le medesime immagini e per cicli di visualizzazione della medesima durata: ai sensi del protocollo IPMVP, le misure in modalità dark sono state pertanto assunte come misure nel periodo di rendicontazione.

Sulla base della letteratura tecnica di settore e dei riferimenti bibliografici indicati al capitolo 10, è stato individuato come variabile indipendente per la determinazione dei risparmi il parametro APL, come definito in premessa: la letteratura tecnica conferma che per i display auto-emissivi esiste una correlazione quasi lineare tra APL e fabbisogno di potenza elettrica.

L'attività di misura è stata di conseguenza condotta registrando la potenza elettrica consumata durante la visualizzazione di immagini con valore variabile del parametro APL: è stato fornito dalla Committenza il set di immagini da utilizzare, allegato alla presente relazione ed è stato calcolato il relativo valore APL in modalità bright e in modalità dark per ogni immagine visualizzata durante il ciclo.

4. CRITERI DI DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI AGGIUSTAMENTO

I parametri di aggiustamento includono i fattori che possono influenzare il consumo o la domanda di energia dell'installazione e che vengono sistematicamente inclusi per determinare l'adeguamento della baseline durante il periodo di rendicontazione, per consentirne il confronto nelle medesime condizioni; nello specifico sono stati considerati i seguenti parametri di tipo dinamico:

- APL - individuato come variabile indipendente
- durata di ogni ciclo di visualizzazione: mantenuta costante

Quali parametri di aggiustamento statici, sono stati considerati:

- superficie della installazione [m^2]
- pixel pitch della installazione (distanza in millimetri tra il centro di 2 pixel/2 LED adiacenti in uno schermo) [mm]
- tecnologia dell'installazione: LED RGB SMB
- condizioni ambientali durante la misura, in particolare temperatura, umidità e luminosità, le cui eventuali variazioni sono state ritenute ininfluenti grazie alla rapida alternanza tra cicli in condizioni di riferimento e cicli in condizioni di rendicontazione.

Per tenere conto dei principali fattori di aggiustamento statici individuati e consentire una generalizzazione dei risultati, comunque limitata ad installazioni della medesima tecnologia, il risparmio energetico è stato calcolato come differenza fra i valori dell'indice di potenza elettrica per metro quadrato di superficie e per mm di pixel pitch [$kW / m^2 / mm$] nelle configurazioni bright e dark, correlandolo alla variazione del parametro APL delle immagini visualizzate.

5. SINTESI DEI DATI RACCOLTI

I dati grezzi registrati sono raccolti nel file disponibile in allegato 1: i dati sono stati elaborati suddividendoli secondo la specifica installazione e secondo le diverse configurazioni cromatiche, valutando gli specifici valori medi e i relativi parametri statistici in termini di intervallo di confidenza (incertezza) e livello di confidenza. Con riferimento a quanto richiesto per l'applicazione del protocollo IPMVP, è stata considerata una distribuzione statistica dei dati di tipo t di Student, con livello di confidenza standard 68,3% ($t = 1$) e livello di confidenza 90% ($t = 1,64$)².

² EVO Uncertainty assessment for IPMVP - 2019

Installazione n. 1

Scopo delle misure effettuate con l'installazione n. 1 è stato quello di stabilire l'effettiva evidenza dei 2 fattori principali di contributo al fabbisogno energetico, come definiti in premessa al presente documento.

A sintetizzare le misure effettuate nell'installazione n° 1, il grafico seguente illustra la variazione di potenza elettrica specifica durante i diversi cicli di visualizzazione del set di immagini, aventi valori APL variabili: sono stati sovrapposti gli andamenti ottenuti impostando il set point di luminosità massima gestita dal driver del billboard su 3 valori differenti, cioè 100%, 50% e 5% (per comodità di lettura si riporta il grafico nella pagina seguente).

Il grafico è stato riportato per giustificare la seguente assunzione: la variazione del livello massimo di luminosità fissato per il billboard influisce chiaramente sul fabbisogno energetico, ma rimane evidente l'influenza dovuta alle variazioni del valore del parametro APL, che determina l'andamento a picchi e valli dei grafici..

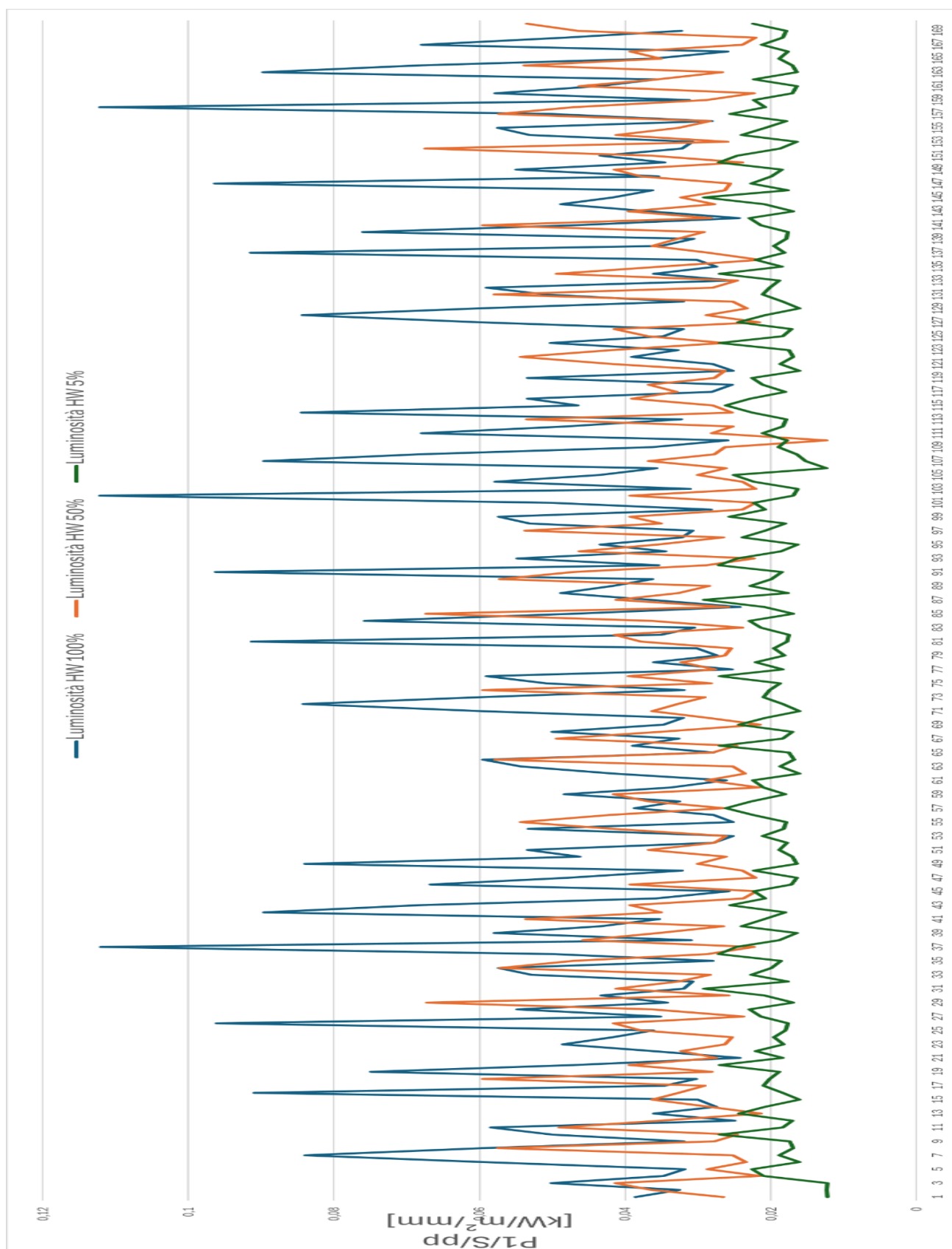


Fig. 1 - Misura potenza specifica installazione 1

Si riassumono i risultati dell'elaborazione statistica della riduzione di fabbisogno energetico al variare della luminosità massima controllata dal driver del billboard:

- **limite luminosità 100%**

consumo medio	0,04686	kW/m²/mm
accuratezza strumento	1%	
varianza	0,00041	
deviazione standard	0,02016	kW/m ² /mm
errore standard	0,00154	kW/m ² /mm
errore standard percentuale	3,289%	
gradi di libertà	170	
tStudent 90%	1,64	
incertezza	± 0,01031	kW/m²/mm

- **limite luminosità 50%**

consumo medio	0,03443	kW/m²/mm
accuratezza strumento	1%	
varianza	0,00012	
deviazione standard	0,01108	kW/m ² /mm
errore standard	0,00085	kW/m ² /mm
errore standard percentuale	2,467%	
gradi di libertà	169	
tStudent 90%	1,64	
incertezza	± 0,01010	kW/m²/mm

- **limite luminosità 5%**

consumo medio	0,02012	kW/m²/mm
accuratezza strumento	1%	
varianza	0,00001	
deviazione standard	0,00344	kW/m ² /mm
errore standard	0,00026	kW/m ² /mm
errore standard percentuale	1,313%	
gradi di libertà	169	
tStudent 90%	1,64	
incertezza	± 0,01001	kW/m²/mm

I valori di incertezza statistica evidenziati, dello stesso ordine di grandezza dei valori di consumo medio, attestano la dipendenza del consumo energetico dal parametro

APL, la cui correlazione è stata oggetto delle misurazioni effettuate con l'installazione n.2.

Installazione n. 2

Le misure presso l'installazione 2 sono state registrate mantenendo costante la luminosità massima gestita dal driver del LEDwall, con visualizzazione ciclica del medesimo gruppo di immagini, allegate al presente documento, disponibili nella modalità bright, caratterizzata da valori di APL superiori al 50% e nella modalità dark, definita da valori di APL inferiori al 50%. Si riporta la tabella con i dati registrati di potenza elettrica assorbita, il valore APL dell'immagine corrispondente e il corrispondente valore di potenza specifica P/S/pp:

Date	Time	P	Unit	APL	P/S/pp [kW/m ² /mm]
13/03/2026	17:01:36	0,251	kW	0,54	0,081706
13/03/2026	17:01:46	0,251	kW	0,52	0,081706
13/03/2026	17:01:56	0,251	kW	0,57	0,081706
13/03/2026	17:02:06	0,239	kW	0,51	0,077799
13/03/2026	17:02:16	0,251	kW	0,52	0,081706
13/03/2026	17:02:26	0,250	kW	0,52	0,081380
13/03/2026	17:02:36	0,254	kW	0,61	0,082682
13/03/2026	17:02:46	0,383	kW	0,71	0,124674
13/03/2026	17:02:56	0,383	kW	0,71	0,124674
13/03/2026	17:03:06	0,382	kW	0,71	0,124349
13/03/2026	17:03:16	0,269	kW	0,63	0,087565
13/03/2026	17:03:26	0,269	kW	0,63	0,087565
13/03/2026	17:03:36	0,269	kW	0,63	0,087565



13/03/2026	17:03:46	0,277	kW	0,65	0,090169
13/03/2026	17:03:56	0,277	kW	0,65	0,090169
13/03/2026	17:04:06	0,276	kW	0,65	0,089844
13/03/2026	17:04:16	0,602	kW	0,76	0,195964
13/03/2026	17:04:26	0,600	kW	0,76	0,195313
13/03/2026	17:04:36	0,601	kW	0,76	0,195638
13/03/2026	17:04:46	0,56	kW	0,73	0,182292
13/03/2026	17:04:56	0,559	kW	0,73	0,181966
13/03/2026	17:05:06	0,560	kW	0,73	0,182292
13/03/2026	17:05:16	0,250	kW	0,52	0,081380
13/03/2026	17:05:26	0,251	kW	0,52	0,081706
13/03/2026	17:05:36	0,252	kW	0,54	0,082031
13/03/2026	17:05:46	0,251	kW	0,52	0,081706
13/03/2026	17:05:56	0,251	kW	0,57	0,081706
13/03/2026	17:06:06	0,251	kW	0,56	0,081706
13/03/2026	17:06:16	0,252	kW	0,56	0,082031
13/03/2026	17:06:26	0,251	kW	0,55	0,081706
13/03/2026	17:06:36	0,252	kW	0,56	0,082031
13/03/2026	17:06:46	0,383	kW	0,71	0,124674
13/03/2026	17:06:56	0,382	kW	0,71	0,124349
13/03/2026	17:07:06	0,383	kW	0,71	0,124674
13/03/2026	17:07:16	0,269	kW	0,63	0,087565
13/03/2026	17:07:26	0,269	kW	0,63	0,087565



13/03/2026	17:07:36	0,270	kW	0,63	0,087891
13/03/2026	17:07:46	0,277	kW	0,65	0,090169
13/03/2026	17:07:56	0,277	kW	0,65	0,090169
13/03/2026	17:08:06	0,277	kW	0,65	0,090169
13/03/2026	17:08:16	0,601	kW	0,76	0,195638
13/03/2026	17:08:26	0,599	kW	0,76	0,194987
13/03/2026	17:08:36	0,601	kW	0,76	0,195638
13/03/2026	17:08:46	0,560	kW	0,73	0,182292
13/03/2026	17:08:56	0,558	kW	0,73	0,181641
13/03/2026	17:09:06	0,560	kW	0,73	0,182292
13/03/2026	17:09:16	0,250	kW	0,52	0,081380
13/03/2026	17:09:26	0,251	kW	0,52	0,081706
13/03/2026	17:09:36	0,251	kW	0,54	0,081706
13/03/2026	17:09:46	0,251	kW	0,57	0,081706
13/03/2026	17:09:56	0,251	kW	0,56	0,081706
13/03/2026	17:10:06	0,252	kW	0,56	0,082031
13/03/2026	17:10:16	0,250	kW	0,55	0,081380
13/03/2026	17:10:26	0,251	kW	0,55	0,081706
13/03/2026	17:10:36	0,251	kW	0,52	0,081706
13/03/2026	17:10:46	0,383	kW	0,71	0,124674
13/03/2026	17:10:56	0,383	kW	0,71	0,124674
13/03/2026	17:11:06	0,383	kW	0,71	0,124674
13/03/2026	17:11:16	0,270	kW	0,63	0,087891



13/03/2026	17:11:26	0,268	kW	0,63	0,087240
13/03/2026	17:11:36	0,268	kW	0,63	0,087240
13/03/2026	17:11:46	0,276	kW	0,65	0,089844
13/03/2026	17:11:56	0,277	kW	0,65	0,090169
13/03/2026	17:12:06	0,277	kW	0,65	0,090169
13/03/2026	17:12:16	0,601	kW	0,76	0,195638
13/03/2026	17:12:26	0,60	kW	0,76	0,195313
13/03/2026	17:12:36	0,60	kW	0,76	0,195313
13/03/2026	17:12:46	0,560	kW	0,73	0,182292
13/03/2026	17:12:56	0,560	kW	0,73	0,182292
13/03/2026	17:13:06	0,560	kW	0,73	0,182292
13/03/2026	17:13:16	0,251	kW	0,52	0,081706
13/03/2026	17:13:26	0,252	kW	0,54	0,082031
13/03/2026	17:13:36	0,251	kW	0,57	0,081706
13/03/2026	17:13:46	0,252	kW	0,56	0,082031
13/03/2026	17:13:56	0,252	kW	0,56	0,082031
13/03/2026	17:14:06	0,251	kW	0,55	0,081706
13/03/2026	17:14:16	0,251	kW	0,55	0,081706
13/03/2026	17:14:26	0,251	kW	0,52	0,081706
13/03/2026	17:14:36	0,251	kW	0,52	0,081706
13/03/2026	17:14:46	0,383	kW	0,71	0,124674
13/03/2026	17:14:56	0,383	kW	0,71	0,124674
13/03/2026	17:15:06	0,382	kW	0,71	0,124349



13/03/2026	17:15:16	0,269	kW	0,63	0,087565
13/03/2026	17:15:26	0,269	kW	0,63	0,087565
13/03/2026	17:15:36	0,269	kW	0,63	0,087565
13/03/2026	17:15:46	0,277	kW	0,65	0,090169
13/03/2026	17:15:56	0,278	kW	0,65	0,090495
13/03/2026	17:16:06	0,276	kW	0,65	0,089844
13/03/2026	17:16:16	0,602	kW	0,76	0,195964
13/03/2026	17:16:26	0,600	kW	0,76	0,195313
13/03/2026	17:16:36	0,602	kW	0,76	0,195964
13/03/2026	17:16:46	0,560	kW	0,73	0,182292
13/03/2026	17:16:56	0,560	kW	0,73	0,182292
13/03/2026	17:17:06	0,561	kW	0,73	0,182617
13/03/2026	17:17:16	0,251	kW	0,52	0,081706
13/03/2026	17:17:26	0,251	kW	0,54	0,081706
13/03/2026	17:17:36	0,252	kW	0,57	0,082031
13/03/2026	17:17:46	0,251	kW	0,56	0,081706
13/03/2026	17:17:56	0,251	kW	0,56	0,081706
13/03/2026	17:18:06	0,251	kW	0,55	0,081706
13/03/2026	17:18:16	0,251	kW	0,55	0,081706
13/03/2026	17:18:26	0,252	kW	0,52	0,082031
13/03/2026	17:18:36	0,251	kW	0,52	0,081706
13/03/2026	17:18:46	0,384	kW	0,71	0,125000
13/03/2026	17:18:56	0,383	kW	0,71	0,124674



13/03/2026	17:19:06	0,383	kW	0,71	0,124674
13/03/2026	17:19:16	0,269	kW	0,63	0,087565
13/03/2026	17:19:26	0,269	kW	0,63	0,087565
13/03/2026	17:19:36	0,269	kW	0,63	0,087565
13/03/2026	17:19:46	0,277	kW	0,65	0,090169
13/03/2026	17:19:56	0,278	kW	0,65	0,090495
13/03/2026	17:20:06	0,277	kW	0,65	0,090169
13/03/2026	17:20:16	0,600	kW	0,76	0,195313
13/03/2026	17:20:26	0,601	kW	0,76	0,195638
13/03/2026	17:20:36	0,600	kW	0,76	0,195313
13/03/2026	17:20:46	0,560	kW	0,73	0,182292
13/03/2026	17:20:56	0,559	kW	0,73	0,181966
13/03/2026	17:21:06	0,560	kW	0,73	0,182292
13/03/2026	17:21:16	0,251	kW	0,52	0,081706
13/03/2026	17:21:26	0,251	kW	0,54	0,081706
13/03/2026	17:21:36	0,252	kW	0,57	0,082031
13/03/2026	17:21:46	0,252	kW	0,56	0,082031
13/03/2026	17:21:56	0,251	kW	0,56	0,081706
13/03/2026	17:22:06	0,251	kW	0,55	0,081706
13/03/2026	17:22:16	0,252	kW	0,55	0,082031
13/03/2026	17:22:26	0,251	kW	0,52	0,081706
13/03/2026	17:22:36	0,251	kW	0,52	0,081706
13/03/2026	17:22:46	0,384	kW	0,71	0,125000



13/03/2026	17:22:56	0,383	kW	0,71	0,124674
13/03/2026	17:23:06	0,383	kW	0,71	0,124674
13/03/2026	17:23:16	0,269	kW	0,63	0,087565
13/03/2026	17:23:26	0,269	kW	0,63	0,087565
13/03/2026	17:23:36	0,269	kW	0,63	0,087565
13/03/2026	17:23:46	0,277	kW	0,65	0,090169
13/03/2026	17:23:56	0,277	kW	0,65	0,090169
13/03/2026	17:24:06	0,277	kW	0,65	0,090169
13/03/2026	17:24:16	0,601	kW	0,76	0,195638
13/03/2026	17:24:26	0,600	kW	0,76	0,195313
13/03/2026	17:24:36	0,599	kW	0,76	0,194987
13/03/2026	17:24:46	0,559	kW	0,73	0,181966
13/03/2026	17:24:56	0,560	kW	0,73	0,182292
13/03/2026	17:25:06	0,560	kW	0,73	0,182292
13/03/2026	17:25:16	0,250	kW	0,52	0,081380
13/03/2026	17:25:26	0,252	kW	0,54	0,082031
13/03/2026	17:25:36	0,251	kW	0,57	0,081706
13/03/2026	17:25:46	0,251	kW	0,56	0,081706
13/03/2026	17:25:56	0,251	kW	0,56	0,081706
13/03/2026	17:26:06	0,251	kW	0,55	0,081706
13/03/2026	17:26:16	0,252	kW	0,55	0,082031
13/03/2026	17:26:26	0,251	kW	0,52	0,081706
13/03/2026	17:26:36	0,252	kW	0,58	0,082031



13/03/2026	17:26:46	0,384	kW	0,71	0,125000
13/03/2026	17:26:56	0,383	kW	0,71	0,124674
13/03/2026	17:27:06	0,384	kW	0,71	0,125000
13/03/2026	17:27:16	0,269	kW	0,63	0,087565
13/03/2026	17:27:26	0,268	kW	0,63	0,087240
13/03/2026	17:27:36	0,269	kW	0,63	0,087565
13/03/2026	17:27:46	0,277	kW	0,65	0,090169
13/03/2026	17:27:56	0,277	kW	0,65	0,090169
13/03/2026	17:28:06	0,277	kW	0,65	0,090169
13/03/2026	17:28:16	0,601	kW	0,76	0,195638
13/03/2026	17:28:26	0,601	kW	0,76	0,195638
13/03/2026	17:28:36	0,601	kW	0,76	0,195638
13/03/2026	17:28:46	0,560	kW	0,73	0,182292
13/03/2026	17:28:56	0,560	kW	0,73	0,182292
13/03/2026	17:29:06	0,560	kW	0,73	0,182292
13/03/2026	17:29:16	0,251	kW	0,57	0,081706
13/03/2026	17:29:26	0,250	kW	0,52	0,081380
13/03/2026	17:29:36	0,252	kW	0,57	0,082031
13/03/2026	17:29:46	0,251	kW	0,56	0,081706
13/03/2026	17:29:56	0,251	kW	0,56	0,081706
13/03/2026	17:30:06	0,251	kW	0,55	0,081706
13/03/2026	17:30:16	0,251	kW	0,55	0,081706
13/03/2026	17:30:26	0,251	kW	0,54	0,081706



13/03/2026	17:37:21	0,100	kW	0,33	0,032552
13/03/2026	17:37:31	0,101	kW	0,33	0,032878
13/03/2026	17:37:41	0,101	kW	0,33	0,032878
13/03/2026	17:37:51	0,141	kW	0,34	0,045898
13/03/2026	17:38:01	0,141	kW	0,34	0,045898
13/03/2026	17:38:11	0,141	kW	0,34	0,045898
13/03/2026	17:38:21	0,141	kW	0,33	0,045898
13/03/2026	17:38:31	0,141	kW	0,33	0,045898
13/03/2026	17:38:41	0,14	kW	0,33	0,045573
13/03/2026	17:38:51	0,141	kW	0,35	0,045898
13/03/2026	17:39:01	0,141	kW	0,35	0,045898
13/03/2026	17:39:11	0,141	kW	0,35	0,045898
13/03/2026	17:39:21	0,142	kW	0,35	0,046224
13/03/2026	17:39:31	0,141	kW	0,35	0,045898
13/03/2026	17:39:41	0,142	kW	0,35	0,046224
13/03/2026	17:39:51	0,148	kW	0,39	0,048177
13/03/2026	17:40:01	0,148	kW	0,39	0,048177
13/03/2026	17:40:11	0,146	kW	0,39	0,047526
13/03/2026	17:40:21	0,169	kW	0,40	0,055013
13/03/2026	17:40:31	0,169	kW	0,40	0,055013
13/03/2026	17:40:41	0,169	kW	0,40	0,055013
13/03/2026	17:40:51	0,185	kW	0,41	0,060221
13/03/2026	17:41:01	0,184	kW	0,41	0,059896



13/03/2026	17:41:11	0,185	kW	0,41	0,060221
13/03/2026	17:41:21	0,098	kW	0,33	0,031901
13/03/2026	17:41:31	0,098	kW	0,33	0,031901
13/03/2026	17:41:41	0,098	kW	0,33	0,031901
13/03/2026	17:41:51	0,100	kW	0,33	0,032552
13/03/2026	17:42:01	0,100	kW	0,33	0,032552
13/03/2026	17:42:11	0,100	kW	0,33	0,032552
13/03/2026	17:42:21	0,140	kW	0,34	0,045573
13/03/2026	17:42:31	0,139	kW	0,34	0,045247
13/03/2026	17:42:41	0,140	kW	0,34	0,045573
13/03/2026	17:42:51	0,139	kW	0,34	0,045247
13/03/2026	17:43:01	0,139	kW	0,34	0,045247
13/03/2026	17:43:11	0,139	kW	0,34	0,045247
13/03/2026	17:43:21	0,139	kW	0,34	0,045247
13/03/2026	17:43:31	0,139	kW	0,34	0,045247
13/03/2026	17:43:41	0,139	kW	0,34	0,045247
13/03/2026	17:43:51	0,140	kW	0,35	0,045573
13/03/2026	17:44:01	0,141	kW	0,35	0,045898
13/03/2026	17:44:11	0,140	kW	0,35	0,045573
13/03/2026	17:44:21	0,147	kW	0,39	0,047852
13/03/2026	17:44:31	0,146	kW	0,39	0,047526
13/03/2026	17:44:41	0,146	kW	0,39	0,047526
13/03/2026	17:44:51	0,168	kW	0,40	0,054688



13/03/2026	17:45:01	0,168	kW	0,40	0,054688
13/03/2026	17:45:11	0,168	kW	0,40	0,054688
13/03/2026	17:45:21	0,184	kW	0,41	0,059896
13/03/2026	17:45:31	0,183	kW	0,41	0,059570
13/03/2026	17:45:41	0,183	kW	0,41	0,059570
13/03/2026	17:45:51	0,096	kW	0,33	0,031250
13/03/2026	17:46:01	0,096	kW	0,33	0,031250
13/03/2026	17:46:11	0,097	kW	0,33	0,031576
13/03/2026	17:46:21	0,099	kW	0,33	0,032227
13/03/2026	17:46:31	0,100	kW	0,33	0,032552
13/03/2026	17:46:41	0,099	kW	0,33	0,032227
13/03/2026	17:46:51	0,139	kW	0,34	0,045247
13/03/2026	17:47:01	0,139	kW	0,34	0,045247
13/03/2026	17:47:11	0,138	kW	0,34	0,044922
13/03/2026	17:47:21	0,138	kW	0,34	0,044922
13/03/2026	17:47:31	0,138	kW	0,34	0,044922
13/03/2026	17:47:41	0,138	kW	0,34	0,044922
13/03/2026	17:47:51	0,138	kW	0,34	0,044922
13/03/2026	17:48:01	0,139	kW	0,34	0,045247
13/03/2026	17:48:11	0,138	kW	0,34	0,044922
13/03/2026	17:48:21	0,140	kW	0,35	0,045573
13/03/2026	17:48:31	0,140	kW	0,35	0,045573
13/03/2026	17:48:41	0,140	kW	0,35	0,045573



13/03/2026	17:48:51	0,145	kW	0,39	0,047201
13/03/2026	17:49:01	0,145	kW	0,39	0,047201
13/03/2026	17:49:11	0,145	kW	0,39	0,047201
13/03/2026	17:49:21	0,167	kW	0,40	0,054362
13/03/2026	17:49:31	0,167	kW	0,40	0,054362
13/03/2026	17:49:41	0,167	kW	0,40	0,054362
13/03/2026	17:49:51	0,183	kW	0,41	0,059570
13/03/2026	17:50:01	0,182	kW	0,41	0,059245
13/03/2026	17:50:11	0,182	kW	0,41	0,059245
13/03/2026	17:50:21	0,096	kW	0,33	0,031250
13/03/2026	17:50:31	0,096	kW	0,33	0,031250
13/03/2026	17:50:41	0,095	kW	0,33	0,030924
13/03/2026	17:50:51	0,099	kW	0,33	0,032227
13/03/2026	17:51:01	0,099	kW	0,33	0,032227
13/03/2026	17:51:11	0,096	kW	0,33	0,031250
13/03/2026	17:51:21	0,138	kW	0,35	0,044922
13/03/2026	17:51:31	0,138	kW	0,35	0,044922
13/03/2026	17:51:41	0,138	kW	0,35	0,044922
13/03/2026	17:51:51	0,137	kW	0,35	0,044596
13/03/2026	17:52:01	0,138	kW	0,35	0,044922
13/03/2026	17:52:11	0,138	kW	0,35	0,044922
13/03/2026	17:52:21	0,137	kW	0,36	0,044596
13/03/2026	17:52:31	0,137	kW	0,36	0,044596



13/03/2026	17:52:41	0,138	kW	0,36	0,044922
13/03/2026	17:52:51	0,139	kW	0,37	0,045247
13/03/2026	17:53:01	0,139	kW	0,37	0,045247
13/03/2026	17:53:11	0,139	kW	0,37	0,045247
13/03/2026	17:53:21	0,145	kW	0,39	0,047201
13/03/2026	17:53:31	0,145	kW	0,39	0,047201
13/03/2026	17:53:41	0,145	kW	0,39	0,047201
13/03/2026	17:53:51	0,167	kW	0,40	0,054362
13/03/2026	17:54:01	0,167	kW	0,40	0,054362
13/03/2026	17:54:11	0,167	kW	0,40	0,054362
13/03/2026	17:54:21	0,183	kW	0,41	0,059570
13/03/2026	17:54:31	0,181	kW	0,41	0,058919
13/03/2026	17:54:41	0,182	kW	0,41	0,059245
13/03/2026	17:54:51	0,095	kW	0,34	0,030924
13/03/2026	17:55:01	0,096	kW	0,34	0,031250
13/03/2026	17:55:11	0,096	kW	0,34	0,031250
13/03/2026	17:55:21	0,098	kW	0,35	0,031901
13/03/2026	17:55:31	0,098	kW	0,35	0,031901
13/03/2026	17:55:41	0,099	kW	0,35	0,032227
13/03/2026	17:55:51	0,137	kW	0,36	0,044596
13/03/2026	17:56:01	0,137	kW	0,36	0,044596
13/03/2026	17:56:11	0,138	kW	0,36	0,044922
13/03/2026	17:56:21	0,137	kW	0,37	0,044596

13/03/2026	17:56:31	0,137	kW	0,37	0,044596
13/03/2026	17:56:41	0,137	kW	0,37	0,044596
13/03/2026	17:56:51	0,137	kW	0,38	0,044596
13/03/2026	17:57:01	0,137	kW	0,38	0,044596
13/03/2026	17:57:11	0,138	kW	0,38	0,044922
13/03/2026	17:57:21	0,139	kW	0,39	0,045247
13/03/2026	17:57:31	0,139	kW	0,39	0,045247
13/03/2026	17:57:41	0,138	kW	0,39	0,044922
13/03/2026	17:57:51	0,145	kW	0,39	0,047201
13/03/2026	17:58:01	0,144	kW	0,39	0,046875
13/03/2026	17:58:11	0,144	kW	0,39	0,046875
13/03/2026	17:58:21	0,167	kW	0,40	0,054362
13/03/2026	17:58:31	0,167	kW	0,40	0,054362

Tab. 1 - Correlazione potenza specifica-APL

Si riporta il grafico che mostra la distribuzione delle coppie di valori (APL, Potenza specifica) e la relativa retta di regressione lineare; l'equazione del modello di correlazione tra potenza elettrica specifica per unità di superficie del billboard e per mm di pixel pitch, correlata al valore del parametro APL, può essere così descritta:

$$P/S/pp \text{ [kW/m}^2\text{/mm]} = 0,2908 * APL - 0,0663$$

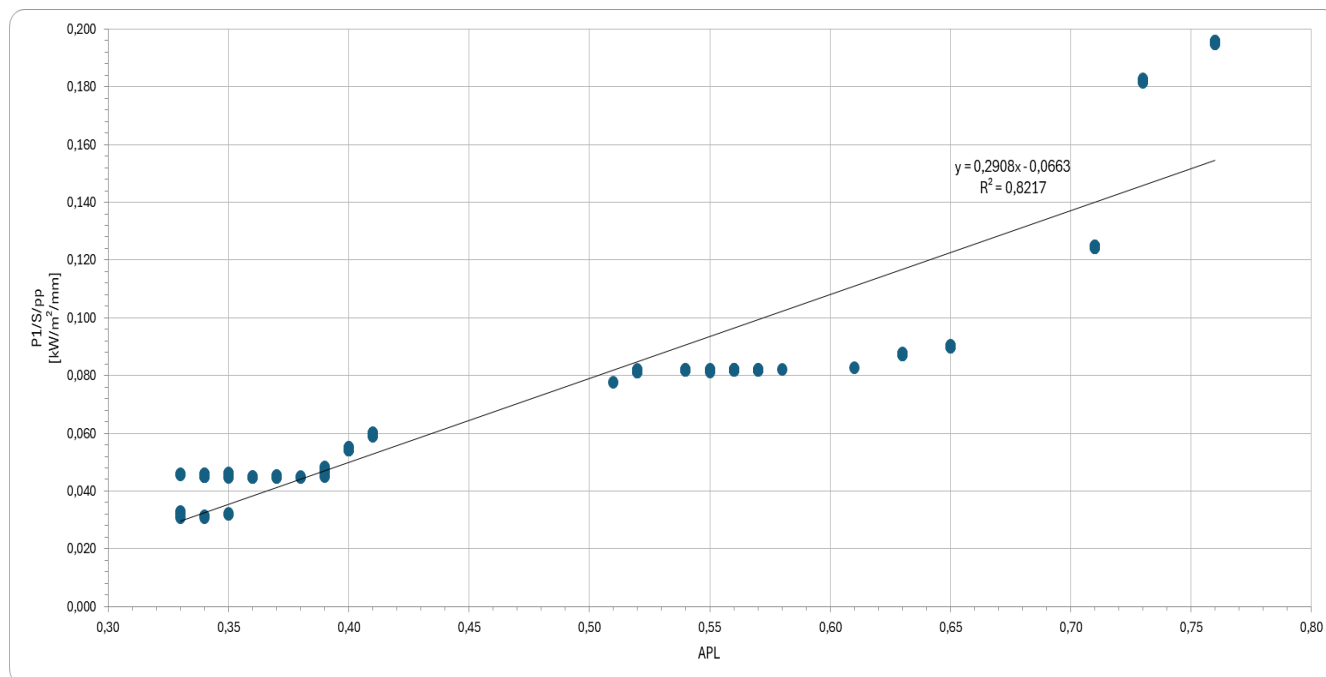


Fig. 2 - Correlazione potenza specifica - APL

I parametri statistici che attestano la validità della correlazione sono i seguenti:

Statistica della regressione	
R multiplo	0,906468931
R al quadrato	0,821685924
R al quadrato corretto	0,821091543
Errore standard	0,020433557
Osservazioni	302

ANALISI VARIANZA

	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significatività F</i>
Regressione	1	0,577204113	0,577204113	1382,424663	2,4166E-114
Residuo	300	0,125259075	0,00041753		
Totale	301	0,702463188			

	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valore di significatività</i>	<i>Inferiore 95%</i>	<i>Superiore 95%</i>	<i>Inferiore 90,0%</i>	<i>Superiore 90,0%</i>
Intercetta	-0,06630876	0,004237425	-15,64836219	9,10032E-41	-0,074647601	-0,057969919	-0,073300294	-0,059317226
Variabile X 1	0,290807904	0,007821418	37,18097179	2,4166E-114	0,275416113	0,306199695	0,277902967	0,303712842

t-Student	1,649931694
-----------	-------------

Il valore del parametro t-Student attesta il livello di confidenza del 90%.

6. ALGORITMI DI CALCOLO DEL RISPARMIO ENERGETICO

Per consentire una migliore generalizzazione dei risultati, il risparmio energetico è stato valutato in termini di indice di potenza attiva assorbita evitata per unità di

superficie dell'installazione e per unità di distanza tra i centri di 2 pixel adiacenti, nella configurazione dark rispetto alla configurazione bright di riferimento.

Nel corso delle misure è stata utilizzata la modalità dei periodi contigui ossia la misura della prestazione alternando cicli in stato di attivazione a cicli in stato di disattivazione dell'azione di efficientamento:

- per le misure sull'installazione 2:

$$\text{Riduzione potenza attiva specifica}_{\text{dark mode}} = \text{EPI}_{\text{rif,bright mode}} - \text{EPI}_{\text{rend,dark mode}}$$

dove:

$\text{EPI}_{\text{rif,bright mode}}$ = Indicatore di prestazione energetica di riferimento in configurazione bright [kW/m²/mm]

$\text{EPI}_{\text{rend,dark mode}}$ = Indicatore di prestazione energetica di rendicontazione in configurazione dark [kW/m²/mm]

Utilizzando il modello di correlazione tra potenza specifica e APL è possibile valutare il risparmio energetico per le installazioni di LED billboard al variare del parametro APL di una immagine. Si riportano 2 esempi di valutazione ipotizzando i seguenti valori:

Installazione di dimensioni 6096 x 3048 mm, superficie 18,58 m²

Pixel pitch: 4.8 mm

Immagine bright - APL 70%

- Potenza specifica: 0,137 kW/m²/mm
- Potenza totale: 0,137 * 18,58 * 4,8 = 12,22 kW

Per immagine dark - APL 35%

- Potenza specifica: 0,035 kW/m²/mm
- Potenza totale: 0,035 * 18,58 * 4,8 = 3,12 kW

Risparmio [%]: [(12,22 - 3,12) / 12,22] * 100 ≈ 74%

Installazione di dimensioni 3000 x 2000 mm, superficie 6,00 m²

Pixel pitch: 4.8 mm

Immagine bright - APL 70%

- Potenza specifica: 0,137 kW/m²/mm
- Potenza totale: 0,137 * 6,00 * 4,8 = 3,95 kW

Per immagine dark - APL 35%

- Potenza specifica: 0,035 kW/m²/mm
- Potenza totale: 0,035 * 6,00 * 4,8 = 1,01 kW

Risparmio [%]: $[(3,95 - 1,01) / 3,95] * 100 \approx 74\%$

7. INDICAZIONE DEGLI STRUMENTI DI MISURA UTILIZZATI

Le misure dei parametri elettrici sono state rilevate con analizzatore di rete marca PCE Instruments modello PA 8000 matricola A1109033, certificato di taratura Kiwa Cermet Italia S.p.A. n° 00001LAT 2603979ESI.

L'analizzatore utilizzato misura il valore efficace reale (true RMS) dei parametri elettrici integrando la forma d'onda effettiva, indipendentemente dalla sua distorsione.

8. INDICAZIONE DEL RESPONSABILE DEL MONITORAGGIO

Le responsabilità generali del presente Piano e della sua applicazione sono attribuite a: Ing. Massimo Bottacini - Esperto in Gestione Energia certificato Secem n. 0107-SC-EGE-2016 - Performance Measurement and Verification Analyst certificato EVO-0839733232MB.

9. PROCEDURA DI CONTROLLO DELLA VALIDITÀ DEL PIANO NEL TEMPO

La procedura di controllo della validità del piano IPMVP nel tempo è un processo iterativo che richiede un impegno continuo da parte degli attori coinvolti e che prevede i seguenti passaggi:

- formazione del personale coinvolto nel progetto per eseguire le attività di misura e verifica
- manutenzione regolare degli strumenti di misura
- monitoraggio dei dati sulle variabili energetiche dell'impianto in modo continuo
- verifica della qualità dei dati, per individuare eventuali errori o anomalie
- verifica della calibrazione del modello energetico dell'impianto utilizzando i dati misurati
- aggiornamento del piano per tener conto di eventuali modifiche alle condizioni operative e alle normative di riferimento
- aggiornamento degli indicatori
- documentazione di dati e analisi in modo chiaro e trasparente.

10. RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

- Riferimenti normativi

UNI CEI EN 17267:2019 Piano di misurazione e monitoraggio - Progettazione ed attuazione - Principi per la raccolta dei dati energetici

UNI ISO 50006:2015 Sistemi di gestione dell'energia - Misurazione della prestazione energetica utilizzando il consumo di riferimento (Baseline – EnB) e gli indicatori di prestazione energetica (EnPI) - Principi generali e linee guida

UNI ISO 50015:2015 Sistemi di gestione dell'energia - Misura e verifica della prestazione energetica delle organizzazioni - Principi generali e linee guida

- Riferimenti al protocollo IPMVP

EVO IPMVP Core Concepts 2022

EVO Uncertainty Assessment for IPMVP Application Guide 2019

- Riferimenti bibliografici

Revolutionizing popularity assessment and energy efficiency of electronic billboards through smart Internet of Things technology. (2023). 2023 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT). 25

Chen, J., Zheng, X., Chen, Y., Wang, Y., Liu, F., Huang, D., Chen, Y., Mao, X., Cao, H., & Xing, F. (2023). Effect of sub-pixel multiplexing on the display quality of LED display. *Scientific Reports*, 13, 16655. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43900-6> 35

Chen, Y.-R., Chang, S.-J., & Hsueh, T.-J. (2024). A co-planarized common cathode Micro-LED display that is produced using planarization and a copper process. *IEEE Electron Device Letters*, 45(10), 1875-1878. <https://doi.org/10.1109/LED.2024.3442436>

Demarty, C.-H., Blondé, L., & Le Meur, O. (2023). Display power modeling for energy consumption control. 2023 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 760-764. <https://doi.org/10.1109/ICIP49359.2023.10222364> 33

Dong, M., & Zhong, L. (2012). Power modeling of graphical user interfaces on OLED displays. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 11(9), 1587-1599. 37

Englert, F., El'Hindi, A., Burgstahler, D., Alhamoud, A., & Steinmetz, R. (2014). Reducing the electricity consumption of large outdoor LED advertising screens. *Proceedings of the Fifth International Conference on Future Energy Systems (ACM e-Energy)*. 56

Hangjianet Research. (2021). White book on super fine pitch LED 2021. 16

International Electrotechnical Commission. (2015). IEC 62087-2: Audio, video, and related equipment - Determination of power consumption - Part 2: Signals and media. 50

Shirai, T., Shimizukawa, S., Shiga, T., & Käläntär, K. (2006). RGB-LED backlights for LCD-TVs with 0D, 1D, and 2D adaptive dimming. *SID Symposium Digest of Technical Papers*. 45

Weber, L. F. (2004). Display power characteristics for TV sets. *Society for Information Display*. 57

Young, G. (2010). Illuminating the issues: Digital billboard study. *Scenic America*. 5

Zalesinska, M. (2018). The impact of the luminance, size and location of LED billboards on the drivers' visual performance. *Accident Analysis & Prevention*. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.02.005> 21

Zhang, X., Qin, H., Zhou, X., & Liu, M. (2021). Comparative evaluation of color reproduction ability and energy efficiency between different

wide-color-gamut LED display approaches. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 225, 165894.

Lee, C., Lee, C., Lee, Y. Y., & Kim, C. S. (2012). Power-constrained contrast enhancement for emissive displays based on histogram equalization. *IEEE Transactions on Image Processing*, 21(1), 80-93.

Chen, X. H., Ho, K. Y., & Wu, Y. R. (2015). Opto-electronic analysis of LED efficiency. *Optics Express*, 23, 32367.

Narukawa, Y., et al. (2010). White Light Emitting Diodes with Super-High Luminous Efficacy. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 43, 354002.

Kom, T. D., et al. (2014). Reducing the Electricity Consumption of Large Outdoor LED Advertising Screens. *Proceedings of the 5th International Conference on Future Energy Systems (e-Energy)*, Cambridge, UK.

"Colorimetric characterization of APL dependent OLED panels based on the power consumption of actual pixel-content of the displayed scene" (2024). Society for Imaging Science and Technology, Color and Imaging Conference (CIC).

"A Study on Energy Saving and Light Pollution of LED Advertising Signs" (2011). *Materials Science Forum*, 121-126, 2979-2984.

Tansu, N., et al. (2007). Polarization Engineering via Staggered InGaN Quantum Wells for Radiative Efficiency Enhancement of Light-Emitting Diodes. *Proceedings of the IEEE/OSA Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)*.

IEC 62087-2008 / IEC 62087-2:2015. Audio, video, and related equipment - Methods of measurement for power consumption - Part 2: Television sets. (Definisce lo standard per la misurazione dell'APL corretta per il gamma).

ITU-R BT.2540 (2024). Content-adaptive image signal processing techniques for reducing the energy consumption of television displays. *International Telecommunication Union*.

Tech 3320. User Requirements for Video Monitors in Television Production. *European Broadcasting Union*.

Beyer, G. (2018). *Interactive Public Displays: Designs for Content-Dependent Interaction*. Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU).

Slocum, A. (2021). A technology assessment of light emitting diode (LED). *National Center for Biotechnology Information (NCBI)*.

11. ALLEGATI

1. Foglio sorgente dati grezzi
2. Foglio dati elaborati
3. Schede tecniche delle installazioni oggetto di misura
4. Cartella con le immagini utilizzate per la misura
5. Certificato PMVA vigente del redattore del presente documento
6. Generalizzazione dei risultati