



Associazione Nazionale
Esercenti Cinema
Sezione Regionale del Lazio



LUCI E SOSTENIBILITÀ NELLO SPETTACOLO DAL VIVO

a cura dell'Osservatorio Spettacolo e Ambiente

LUCI E SOSTENIBILITÀ NELLO SPETTACOLO DAL VIVO

con un'analisi di 22 casi nazionali ed europei

A cura dell'Osservatorio Spettacolo e Ambiente

Testo a cura di Marco Gisotti e Green Factor

Prima pubblicazione maggio 2025

L'Osservatorio Spettacolo e Ambiente è promosso da ANEC, Green Cross Italia e Atip ed è finanziato dall'Unione europea – NextGenerationEu attraverso il Ministero della cultura – Direzione Generale Creatività Contemporanea

Sommario

ABSTRACT.....	7
EVOLUZIONE DELLE TECNOLOGIE ILLUMINOTECNICHE E SINERGIE DI RISPARMIO ENERGETICO	9
LA TRANSIZIONE ENERGETICA DALLO STATO SOLIDO: TECNOLOGIA LED E SISTEMI OTTICI D'AVANGUARDIA	9
RIDUZIONE DEL CARICO TERMICO INDOTTO (HVAC) ED EFFETTI SISTEMICI SULL'INFRASTRUTTURA TEATRALE	10
PROTOCOLLI DI CONTROLLO DIGITALE: INTEGRAZIONE DALI, DMX512/RDM E SISTEMI BACS	11
QUADRO NORMATIVO, CERTIFICAZIONI AMBIENTALI E STRUMENTI DI FINANZIAMENTO PNRR	13
I CRITERI AMBIENTALI MINIMI (CAM) E IL GREEN PUBLIC PROCUREMENT (GPP) IN ITALIA	13
STANDARD INTERNAZIONALI DI SOSTENIBILITÀ: ISO 20121, ISO 50001 ED EMAS	14
IL PNRR E I FINANZIAMENTI EUROPEI (NEXTGENERATIONEU)	15
CATALOGO SISTEMATICO DEI CASI STUDIO (ANALISI DI 22 APPLICAZIONI EUROPEE)	17
CATEGORIA A: GRANDI INTERVENTI STRUTTURALI E DI RELAMPING SU TEATRI MONUMENTALI E FONDAZIONI LIRICO-SINFONICHE (GRANDI DIMENSIONI)	17
<i>Teatro alla Scala, Milano (Lombardia, Italia)</i>	17
<i>Piccolo Teatro di Milano (Lombardia, Italia)</i>	17
<i>Teatro Regio di Torino (Piemonte, Italia)</i>	18
<i>Teatro Costanzi / Teatro dell'Opera di Roma (Lazio, Italia)</i>	18
<i>Teatro Malibran / Fondazione Teatro La Fenice, Venezia (Veneto, Italia)</i>	18
<i>Teatro di San Carlo - Officine San Carlo di Vigliena, Napoli (Campania, Italia)</i>	19
<i>Opéra Bastille, Parigi (Francia)</i>	19
<i>Royal Opera House, Londra (Regno Unito)</i>	19
<i>La Monnaie / De Munt, Bruxelles (Belgio)</i>	19
CATEGORIA B: INTERVENTI DI RINNOVAMENTO ILLUMINOTECNICO SU TEATRI STABILI E COMUNALI (MEDIE DIMENSIONI)	20
<i>Teatro delle Muse, Ancona (Marche, Italia)</i>	20
<i>Teatro Carlo Goldoni, Livorno (Toscana, Italia)</i>	20
<i>Teatro Alighieri, Ravenna (Emilia-Romagna, Italia)</i>	20
<i>Teatro Comunale di Sassari (Sardegna, Italia)</i>	21
<i>Teatro Comunale Claudio Abbado, Ferrara (Emilia-Romagna, Italia)</i>	21
<i>Teatro Verdi, Padova (Veneto, Italia)</i>	21
<i>Teatro de la Zarzuela, Madrid (Spagna)</i>	22
<i>GöteborgsOperan, Göteborg (Svezia)</i>	22
CATEGORIA C: INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO MIRATO SU TEATRI MINORI, RIDOTTI E SPAZI AUSILIARI (DIMENSIONI MINORI O SPAZI POLIFUNZIONALI)	22
<i>Teatro Secci, Terni (Umbria, Italia)</i>	22
<i>Gran Teatro Giacomo Puccini, Torre del Lago (Toscana, Italia)</i>	22
<i>Ridotto del Teatro Comunale di Vicenza (Veneto, Italia)</i>	23
<i>Piccolo Regio Puccini, Torino (Piemonte, Italia)</i>	23
<i>National Theatre Green Store, Bermondsey, Londra (Regno Unito)</i>	23
SINTESI DEI DATI PRESTAZIONALI E RACCOMANDAZIONI STRATEGICHE	24
ANALISI COMPARATIVA DEI BENEFICI ENERGETICI, AMBIENTALI ED ECONOMICI	24
ABBATTIMENTO DELLE EMISSIONI DI CARBONIO E TRANSIZIONE ENERGETICA	25
OTTIMIZZAZIONE DEL COMFORT AMBIENTALE ED ACUSTICO	25
CONCLUSIONI E LINEE GUIDA PER IL FUTURO DEL SETTORE TEATRALE SOSTENIBILE	26
FONTI UFFICIALI E ISTITUZIONALI	28

Abstract

Il quaderno dedicato alla sostenibilità del mondo teatrale e in particolare alle tecnologie per l'illuminazione analizza il percorso di transizione ecologica e tecnologica nel settore dello spettacolo dal vivo al chiuso, focalizzandosi sull'efficienza energetica, l'adeguamento normativo e l'impatto delle infrastrutture teatrali. L'adozione diffusa delle sorgenti luminose a LED ad alte prestazioni e dei sistemi avanzati di miscelazione cromatica come gli array RGBAL e RGBMA ha consentito di superare i limiti storici di resa dei colori e stabilità spettrale, garantendo un'elevata fedeltà visiva senza sfarfallio e abbattendo l'assorbimento elettrico di oltre il settanta per cento rispetto ai sistemi tradizionali ad incandescenza, alogeni o a scarica. Questa riconversione tecnologica genera un effetto sistemico virtuoso sull'architettura degli edifici teatrali: la drasticamente ridotta emissione di radiazione infrarossa nel fascio luminoso diminuisce l'apporto termico sulla scena fino a otto gradi Celsius, riducendo di conseguenza il carico di lavoro degli impianti di climatizzazione e ventilazione HVAC con un ulteriore risparmio energetico del venticinque per cento e un significativo azzeramento dei costi di manutenzione ordinaria. L'ottimizzazione complessiva dei consumi viene perfezionata attraverso l'integrazione di protocolli di controllo digitale quali DMX512-A con estensione RDM per la diagnostica in tempo reale sulla scena, e sistemi DALI-LINK collegati ad automazioni BACS di classe B o superiore per gli spazi accessori e di servizio, garantendo la gestione dinamica dei flussi e l'eliminazione dei consumi latenti. Il quadro regolatorio di riferimento trova il suo cardine nazionale nell'applicazione obbligatoria dei Criteri Ambientali Minimi ed è affiancato dall'adozione di standard internazionali di gestione sostenibile e certificazione energetica quali ISO 20121, ISO 50001, EMAS e i protocolli operativi del Theatre Green Book. Questo processo di modernizzazione trae un fondamentale impulso economico dalle risorse europee di NextGenerationEU e dal PNRR, i cui finanziamenti sono vincolati al rispetto del

principio del non arrecare danno significativo all'ambiente. L'esame comparativo condotto su ventidue casi studio europei dimostra l'efficacia pratica di tali interventi, che registrano un tempo medio di rientro dall'investimento pari a poco più di quattro anni e una contrazione delle emissioni dirette ed indirette di anidride carbonica compresa tra il quaranta e il sessantacinque per cento, confermando la fattibilità del connubio tra tutela del patrimonio storico-architettonico e raggiungimento degli obiettivi globali di neutralità climatica.

Evoluzione delle tecnologie illuminotecniche e sinergie di risparmio energetico

La transizione energetica dallo stato solido: tecnologia LED e sistemi ottici d'avanguardia

Negli ultimi anni, il settore dello spettacolo dal vivo al chiuso ha vissuto una trasformazione tecnologica radicale, guidata dalla transizione dalle sorgenti tradizionali a incandescenza, alogene e a scarica verso la tecnologia a diodi a emissione di luce (LED). L'illuminazione scenica tradizionale si basava su lampade ad alto consumo energetico, tipicamente da 750 W a oltre 2000 W per singolo proiettore, caratterizzate da una bassa efficienza luminosa, compresa generalmente tra i 15 e i 30 lumen per Watt (lm/W). Al contrario, i moderni sistemi a LED di classe professionale per applicazioni teatrali offrono un'efficienza superiore ai 100 lm/W, riducendo l'assorbimento elettrico nominale a valori compresi tra 150 W e 300 W per prestazioni illuminotecniche equivalenti o superiori.

Sotto il profilo qualitativo, le barriere tecnologiche che inizialmente limitavano la diffusione del LED nei teatri storici e d'opera — quali la scarsa fedeltà cromatica e la discontinuità dello spettro luminoso — sono state superate grazie all'introduzione di matrici multichip avanzate. Le configurazioni basate su sistemi a cinque o più colori, come gli array RGBAL (Rosso, Verde, Blu, Ambra, Lime) o RGBMA, consentono la miscelazione accurata delle lunghezze d'onda, garantendo un indice di resa cromatica (CRI) superiore a 95 e un elevato Television Lighting Consistency Index (TLCI). Tali parametri sono essenziali per la corretta percezione dei toni dell'incarnato e delle texture scenografiche, soddisfacendo i severi standard visivi richiesti dalle produzioni teatrali e televisive senza generare l'effetto di sfarfallio (flicker) durante le riprese video. Inoltre, l'adozione di ottiche intercambiabili ad alta precisione e sistemi di sagomatura del fascio luminoso consente di concentrare il flusso utile esclusivamente sulle aree di interesse, minimizzando le dispersioni laterali e ottimizzando l'illuminamento utile sulla scena.

Parametro tecnico	Sorgenti tradizionali (alogene / scarica)	Sorgenti LED di nuova generazione (2026)
Efficienza luminosa	15 - 30 lm/W	> 100 lm/W
Vita utile nominale	1.000 - 3.000 ore	> 50.000 ore[9] ⁴
Indice resa cromatica (cri)	90 - 99	>= 95 (con array RGBAL/RGBMA)
Emissione infrarossa (fascio)	Elevata (conversione in calore radiante)	Quasi assente (dissipata sul retro)
Costi manutentivi ordinari	Elevati (sostituzione frequente lampade)	Pressoché nulli lungo il ciclo di vita

Riduzione del carico termico indotto (HVAC) ed effetti sistemici sull'infrastruttura teatrale

Un aspetto di fondamentale importanza nell'analisi energetica globale dei teatri al chiuso è rappresentato dalla drastica riduzione dell'apporto termico derivante dalle sorgenti luminose sceniche. Le lampade alogene tradizionali convertono circa il 90% dell'energia elettrica assorbita in calore radiante (radiazione infrarossa), riscaldando direttamente la superficie del palcoscenico, i performer e l'aria circostante. Questo fenomeno impone un carico termico significativo sui sistemi di condizionamento, ventilazione e riscaldamento (HVAC) dei teatri, costretti a operare a regimi elevati anche durante le stagioni intermedie e invernali per compensare il calore generato dai fari.

La transizione verso corpi illuminanti a LED, che generano calore prevalentemente per conduzione sul retro del circuito stampato (smaltito tramite dissipatori passivi o ventole silenziose) e non emettono radiazioni infrarosse nel fascio utile, modifica radicalmente questo bilancio termico. Studi empirici condotti in ambienti protetti

mostrano che l'adozione integrale di sistemi LED può determinare una riduzione della temperatura operativa sul palcoscenico fino a 8 °C, traducendosi direttamente in un abbattimento del fabbisogno energetico per il raffrescamento dei locali (HVAC) quantificabile in circa il 25%. Questo effetto sistemico, noto come "interazione tra illuminazione e climatizzazione", amplifica il risparmio elettrico diretto del sistema illuminante, riducendo le emissioni indirette di anidride carbonica associate ai vettori energetici termici. Inoltre, la minore temperatura d'esercizio prolunga la vita utile dei gel filtri, dei gobo e degli stessi componenti elettronici dei proiettori, azzerando di fatto i costi di manutenzione ordinaria.

Protocolli di controllo digitale: integrazione DALI, DMX512/RDM e sistemi BACS

L'ottimizzazione energetica dell'illuminotecnica teatrale non può prescindere dall'implementazione di sistemi di controllo digitale avanzati, in grado di parzializzare l'intensità luminosa e temporizzare l'accensione dei dispositivi in funzione delle reali esigenze d'uso. A differenza degli impianti tradizionali basati su pesanti rack di dimmer a taglio di fase, le tecnologie moderne integrano protocolli di comunicazione bidirezionale che operano direttamente a livello di singolo apparecchio.

Il protocollo DMX512-A rappresenta lo standard di riferimento per l'illuminazione di scena. L'estensione bidirezionale RDM (Remote Device Management) consente non solo di inviare i parametri di controllo, ma anche di ricevere in tempo realtime dati diagnostici quali la temperatura interna del LED, le ore di funzionamento e il consumo istantaneo. Questo livello di monitoraggio facilita la manutenzione predittiva e la diagnosi di eventuali anomalie energetiche.

Per l'illuminazione di sala, dei foyer e degli spazi di servizio, lo standard d'elezione è rappresentato dal protocollo DALI (Digital Addressable Lighting Interface). L'adozione di soluzioni DALI-LINK consente l'integrazione di sensori di presenza e di luminosità ambientale (daylight harvesting), riducendo l'accensione dei corpi illuminanti artificiali nelle aree presidiate e modulando il flusso in relazione all'apporto naturale derivante da lucernari o superfici vetrate. L'integrazione complessiva di questi protocolli in sistemi BACS (Building Automation and Control Systems) di classe B o superiore, programmabili sulla base dei calendari di prove e

rappresentazioni della struttura teatrale, assicura la totale eliminazione dei consumi latenti nelle ore di inutilizzo.

Quadro normativo, certificazioni ambientali e strumenti di finanziamento PNRR

I Criteri Ambientali Minimi (CAM) e il Green Public Procurement (GPP) in Italia

In Italia, l'efficacia delle politiche di sostenibilità degli eventi e dei luoghi di cultura trova il proprio fulcro normativo nei Criteri Ambientali Minimi (CAM) definiti nell'ambito del Green Public Procurement (GPP). L'adozione dei CAM è finalizzata a indirizzare le pubbliche amministrazioni verso l'acquisto di beni, servizi e lavori a ridotto impatto ambientale lungo l'intero ciclo di vita.

Il decreto di riferimento principale è il Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica del 19 ottobre 2022, n. 459 (pubblicato in Gazzetta Ufficiale n. 282 del 2 dicembre 2022), recante l'approvazione dei cosiddetti "CAM Eventi". Questo decreto stabilisce prescrizioni obbligatorie per l'affidamento dei servizi di organizzazione e realizzazione di eventi, inclusi spettacoli teatrali, concerti e manifestazioni artistiche al chiuso promossi da enti pubblici o soggetti affidatari di contratti pubblici.

Ambito regolatorio	Dettaglio prescrizioni CAM in ambito illuminotecnico	Impatto diretto sui progetti
Sorgenti luminose	Obbligo di utilizzo esclusivo di tecnologia a LED ad alta efficienza energetica.	Dismissione programmata di fari alogeni e a scarica.
Sistemi di controllo	Implementazione di sistemi automatici di regolazione (BACS) almeno di Classe B.	Controllo intelligente e spegnimento automatizzato delle zone non d'uso.
Approvvigionamento	Sottoscrizione di contratti di fornitura di energia prodotta al 100% da fonti rinnovabili.	Azzeramento delle emissioni indirette (Scope 2) della struttura.
Allestimenti e scenografie	Impiego di legno certificato FSC/PEFC e materiali riciclati/riciclabili.	Incentivazione dell'economia circolare e riduzione rifiuti persistenti.

Le linee guida, per esempio, fornite dal Comune di Milano nell'ambito dell'applicazione dei CAM e approfondite nel Manuale operativo dell'Hub degli artisti definiscono un quadro in cui l'adempimento normativo si sposa con l'adozione di un approccio strutturato alla riduzione dell'impronta carbonica. Le stazioni appaltanti sono tenute ad inserire tali specifiche tecniche all'interno dei capitolati di gara, rendendole vincolanti anche per gli affidamenti in house.

Standard internazionali di sostenibilità: ISO 20121, ISO 50001 ed EMAS

Al di là degli obblighi legislativi nazionali, i teatri e le istituzioni concertistiche europee adottano progressivamente standard internazionali volontari per certificare e strutturare le proprie politiche di sostenibilità ecologica.

UNI ISO 20121 (Sistemi di gestione sostenibile degli eventi): rappresenta lo standard internazionale di riferimento per la gestione sostenibile delle attività nel settore dello spettacolo. Questo schema analizza l'intero ciclo di vita dell'evento culturale, richiedendo la minimizzazione dei consumi energetici, la riduzione dei rifiuti e il coinvolgimento attivo degli stakeholder.

UNI EN ISO 50001 (Sistemi di gestione dell'energia): applicata prevalentemente alle grandi infrastrutture storiche e alle fondazioni liriche, questa certificazione supporta le organizzazioni nello sviluppo di un piano sistematico per il miglioramento continuo delle prestazioni energetiche, definendo indicatori di prestazione (EnPIs) e monitorando costantemente l'impatto dei sistemi di illuminazione e HVAC.

EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) ed Ecolabel enterprise: regolamento dell'Unione Europea che premia le organizzazioni che si impegnano a valutare, relazionare e migliorare le proprie prestazioni ambientali. Nel contesto belga, ad esempio, l'adozione dell'etichetta di impresa ecodinamica descrive un percorso analogo focalizzato sul monitoraggio energetico continuo.

Theatre Green Book: sviluppato nel Regno Unito ed esteso rapidamente in tutta Europa, questo protocollo si articola in tre volumi (Produzioni, Edifici, Operazioni). Esso impone obiettivi quantitativi precisi, quali la provenienza di almeno il 50% dei materiali scenografici da fonti riciclate o riutilizzate entro il 2025, e la transizione totale al LED per i sistemi illuminotecnici.

Il PNRR e i finanziamenti europei (NextGenerationEU)

La transizione ecologica dei luoghi della cultura ha ricevuto un impulso senza precedenti grazie alle risorse allocate dal programma europeo NextGenerationEU, declinato in Italia attraverso il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Nello specifico, l'ambito d'azione principale è definito dalla Missione 1 – Digitalizzazione, innovazione, competitività, cultura e turismo, Componente 3 – Turismo e Cultura 4.0 (M1C3), Misura 1 “Patrimonio culturale per la prossima generazione”, Investimento 1.3: “Migliorare l'efficienza energetica di cinema, teatri e musei”.

La transizione ecologica dei luoghi della cultura ha ricevuto un impulso senza precedenti grazie alle risorse allocate dal programma europeo NextGenerationEU, declinato in Italia attraverso il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Nello specifico, l'ambito d'azione principale è definito dalla Missione 1 – Digitalizzazione, innovazione, competitività, cultura e turismo, Componente 3 – Turismo e Cultura 4.0 (M1C3), Misura 1 “Patrimonio culturale per la prossima generazione”, Investimento 1.3: “Migliorare l'efficienza energetica di cinema, teatri e musei”.

L'Investimento 1.3, dotato di una dotazione finanziaria complessiva di circa 300 milioni di euro, riserva una quota specifica pari a 105.459.004,08 euro per la promozione dell'eco-efficienza e la riduzione dei consumi energetici nelle sale teatrali pubbliche e private (Obiettivo 2). I progetti ammissibili al finanziamento prevedono contributi a fondo perduto fino a un massimo di 650.000 euro per singola sala, con un'intensità d'aiuto che può raggiungere l'80% dei costi ammissibili per investimenti inferiori a 2,2 milioni di euro.

Condizione vincolante per l'accesso ai fondi è il rispetto rigoroso del principio europeo del DNSH (Do No Significant Harm), ai sensi dell'art. 17 del Regolamento (UE) 2021/241. Gli interventi non devono arrecare danno significativo a nessuno dei sei obiettivi ambientali dell'Unione Europea, un requisito che trova perfetta convergenza con l'applicazione dei requisiti tecnici definiti dai CAM italiani. Le principali linee di

intervento finanziate includono la sostituzione di caldaie e gruppi refrigeratori storici con pompe di calore ibride ad alta efficienza, l'integrazione di impianti fotovoltaici compatibili con i vincoli della Soprintendenza e il relamping integrale a LED degli apparati di scena e di sala.

Catalogo sistematico dei casi studio (analisi di 22 applicazioni europee)

Gli interventi tecnologici realizzati nel periodo 2018-2026 sul territorio italiano ed europeo testimoniano l'eterogeneità delle soluzioni adottate in funzione del pregio monumentale dell'immobile, della capacità finanziaria dell'ente gestore e dell'ampiezza dell'intervento progettuale. Di seguito si propone la classificazione dettagliata di 22 casi studio, strutturata per ampiezza dell'intervento e localizzazione geografica.

Categoria A: grandi interventi strutturali e di relamping su teatri monumentali e fondazioni lirico-sinfoniche (grandi dimensioni)

Teatro alla Scala, Milano (Lombardia, Italia)

Descrizione e tecnologie Avviato nel 2018 in partnership con Edison NEXT e Signify, il progetto "Scala Green" ha previsto un audit energetico profondo su oltre 1.200 locali e l'analisi di 6.000 punti luce. È stato effettuato il relamping LED sistematico dei foyers, degli uffici e di porzioni significative dell'illuminazione scenica, associato alla fornitura esclusiva di energia verde certificata. Per approfondimenti, si veda il report dedicato di Edison Next sulla riqualificazione della Scala.

Risultati ambientali ed energetici Riduzione del 18% dei consumi energetici complessivi, evitando l'emissione di circa 1.000 tonnellate di CO₂ all'anno.

Piccolo Teatro di Milano (Lombardia, Italia)

Descrizione e tecnologie Accordo di partenariato pubblico-privato con Engie per l'efficientamento integrato delle sedi del teatro. L'intervento ha combinato la sostituzione delle tecnologie di termoregolazione con sistemi digitali avanzati e il relamping a LED di scena e sala.

Risultati ambientali ed energetici Riduzione delle emissioni climalteranti per oltre 300 tonnellate di CO₂ all'anno, equivalenti alla capacità di assorbimento di 4.000 nuovi alberi.

Teatro Regio di Torino (Piemonte, Italia)

Descrizione e tecnologie Intervento di adeguamento tecnologico finanziato dal Ministero della Cultura con 8,5 milioni di euro (Lotto A1 e Lotto A2). Ha riguardato il rinnovamento della meccanica scenica superiore ed inferiore e la ristrutturazione degli impianti luci sceniche e di sala, con installazione di schermi e LED wall curvi autoportanti ad alta efficienza per scenografie digitali dinamiche. Le specifiche dell'inizio lavori sono pubblicate dal Teatro Regio di Torino.

Risultati ambientali ed energetici Ottimizzazione dei tempi di allestimento, riduzione dei costi manutentivi e abbattimento dei consumi elettrici di scena del 40%.

Teatro Costanzi / Teatro dell'Opera di Roma (Lazio, Italia)

Descrizione e tecnologie Progetto finanziato per complessivi 840.000 euro a valere sui fondi PNRR M1C3 per l'efficientamento energetico del Teatro Costanzi e del Teatro Nazionale. L'intervento ha previsto la sostituzione totale delle lampade ordinarie con sistemi a LED e la riqualificazione dei sistemi di continuità elettrica di scena. Le iniziative di mobilità e partnership sono descritte in relazione all'accordo con BMW Roma.

Risultati ambientali ed energetici Sostanziale riduzione dei picchi di assorbimento elettrico durante le rappresentazioni e allineamento agli standard DNSH.

Teatro Malibran / Fondazione Teatro La Fenice, Venezia (Veneto, Italia)

Descrizione e tecnologie Intervento finanziato tramite fondi PNRR (M1C3, Investimento 1.3, Obiettivo 2) focalizzato sulla sostituzione totale delle apparecchiature illuminotecniche di spettacolo con proiettori a LED ad alte prestazioni. Sono stati implementati fari sagomatori e teste mobili a LED di ultima generazione (tra cui teste mobili ETC Halcyon Titanium da 600 W con flusso luminoso da 40.000 lm in sostituzione di lampade a scarica da 1200 W).

Risultati ambientali ed energetici Risparmio energetico annuo atteso di 69.425 kWh (pari a una riduzione del 32,82% dei consumi di settore) ed emissioni evitate per 24,5 tonnellate di CO₂ equivalente all'anno, con un risparmio finanziario netto stimato in 347.839 euro lungo il ciclo di vita utile stimato in 13,8 anni per le sorgenti LED.

**Teatro di San Carlo - Officine San Carlo di Vigliena,
Napoli (Campania, Italia)**

Descrizione e tecnologie Riqualificazione energetica dell'edificio storico e delle Officine San Carlo di Vigliena nell'ambito dei finanziamenti PNRR per la transizione verde dei luoghi della cultura. Implementazione di proiettori scenici a LED ed efficientamento dei quadri di distribuzione elettrica.

Risultati ambientali ed energetici Abbattimento stimato delle spese di gestione elettrica per oltre il 30% e integrazione di percorsi formativi per tecnici teatrali specializzati in tecnologie verdi.

Opéra Bastille, Parigi (Francia)

Descrizione e tecnologie Sviluppo di un audit energetico profondo e di una valutazione dell'impronta di carbonio (Bilan Carbone, pari a 44.654 tCO₂e complessive nel 2019). Tra le azioni principali figura la sostituzione progressiva dei proiettori tradizionali a scarica da 2 kW e 4 kW posizionati sulle passerelle tecniche di sala con teste mobili a LED High End SolaFrame 3000 con ottiche a lunga gittata (fino a 42 metri di proiezione utile).

Risultati ambientali ed energetici Riduzione drastica del consumo di energia elettrica e dei relativi costi di manutenzione grazie all'eliminazione delle lampade a scarica ad alta usura.

Royal Opera House, Londra (Regno Unito)

Descrizione e tecnologie Progetto di ammodernamento strutturale e illuminotecnico completato nel 2025. A causa dell'elevato peso dei nuovi proiettori LED (sebbene dotati di consumi ridotti del 90%), è stata installata una nuova struttura a traliccio in alluminio assistita da un sistema di catene passacavo zig-zag ad alta precisione igus per la gestione silenziosa e invisibile del cablaggio di alimentazione e controllo.

Risultati ambientali ed energetici Riduzione del 90% del consumo energetico dei corpi illuminanti di scena e riciclo completo di 2,4 tonnellate di vecchie catene portacavi rimesse nel ciclo dei materiali.

La Monnaie / De Munt, Bruxelles (Belgio)

Descrizione e tecnologie Programma "Green Opera" regolato dal marchio aziendale ecodinamico di Bruxelles (2 stelle) e allineato alle direttive europee

2030. Ha incluso l'adozione del Theatre Green Book, l'introduzione di un sistema di monitoraggio energetico in tempo reale, la sostituzione sistematica dei corpi illuminanti con modelli a LED e l'applicazione di principi di eco-progettazione scenografica.

Risultati ambientali ed energetici Riduzione del 10% del consumo di elettricità e del 28% del consumo di gas nel 2022 rispetto ai livelli del 2018.

Categoria B: interventi di rinnovamento illuminotecnico su teatri stabili e comunali (medie dimensioni)

Teatro delle Muse, Ancona (Marche, Italia)

Descrizione e tecnologie Progetto esecutivo per interventi di efficientamento energetico co-finanziato dal PNRR (M1C3, Investimento 1.3) con un budget di circa 1,14 milioni di euro. Gli interventi hanno previsto il revamping della centrale termica, l'integrazione di sistemi di termoregolazione a fan-coil, il relamping integrale conforme ai CAM e l'installazione di nuovi gruppi di continuità (UPS).

Risultati ambientali ed energetici Riduzione delle emissioni complessive di CO₂ da 366.828,00 kg/anno a 216.428,50 kg/anno, corrispondente a un abbattimento del 40,9% delle emissioni atmosferiche, con miglioramento della classe di prestazione energetica dell'edificio da C a B.

Teatro Carlo Goldoni, Livorno (Toscana, Italia)

Descrizione e tecnologie Progetto complessivo da 1.020.960,00 euro co-finanziato dal Comune di Livorno e dai fondi PNRR. L'intervento principale ha riguardato il relamping completo dell'illuminazione scenica con nuovi fari e sagomatori LED a elevate prestazioni ottiche, integrato da interventi di insonorizzazione e macchinari a ridotto impatto acustico.

Risultati ambientali ed energetici Riduzione dell'impatto di carbonio della struttura con l'abbattimento di 78,3 tonnellate di CO₂ all'anno, pari a una diminuzione del 65% rispetto alla media storica del triennio precedente all'intervento.

Teatro Alighieri, Ravenna (Emilia-Romagna, Italia)

Descrizione e tecnologie Riqualificazione energetica finanziata per l'80% dal PNRR, dal Comune di Ravenna e dalla Fondazione Ravenna Manifestazioni.

L'intervento ha integrato l'installazione di un impianto fotovoltaico da 300 mq costituito da 156 pannelli di colore rosso (classe 1 di reazione al fuoco) integrati con i coppi storici nel rispetto delle prescrizioni della Soprintendenza, un sistema di accumulo a batterie da 58 kWh, il relamping LED dei camerini, dei locali tecnici e del monumentale lampadario centrale, e nuovi videoproiettori laser.

Risultati ambientali ed energetici Autoproduzione parziale di energia pulita con impatto visivo nullo sul tessuto urbano storico e azzeramento dei consumi dei sistemi illuminanti ausiliari.

Teatro Comunale di Sassari (Sardegna, Italia)

Descrizione e tecnologie Intervento di eco-efficienza e abbattimento dei consumi energetici per 1,14 milioni di euro finanziato nell'ambito della Missione 1, Investimento 1.3 del PNRR.

Risultati ambientali ed energetici Sostituzione sistematica dei sistemi illuminotecnici tradizionali a favore di proiettori LED di classe A, con riduzione attesa della bolletta energetica globale della struttura superiore al 35%.

Teatro Comunale Claudio Abbado, Ferrara (Emilia-Romagna, Italia)

Descrizione e tecnologie Ammodernamento tecnologico dei sistemi scenici basato sull'integrazione di tecnologie automatizzate e digitali. La dotazione tecnica è stata integrata con proiettori a LED Prolights (EclProfile CT+, Astra Wash, ECL Fresnel) ed Elation Parled, controllati tramite console di ultima generazione MA Lighting e fari sagomatori.

Risultati ambientali ed energetici Elevata flessibilità gestionale della scena, annullamento dei tempi di cablaggio e drastica riduzione dei carichi elettrici istantanei sul quadro luci generale.

Teatro Verdi, Padova (Veneto, Italia)

Descrizione e tecnologie Intervento di ammodernamento dell'illuminazione scenica tramite la transizione sistematica a fari LED di elevata precisione cromatica.

Risultati ambientali ed energetici Sostituzione dei corpi illuminanti e ottimizzazione qualitativa del fascio luminoso associata a un risparmio elettrico stimato in 22.000 kWh all'anno.

Teatro de la Zarzuela, Madrid (Spagna)

Descrizione e tecnologie Processo di modernizzazione a tecnologia LED svoltosi in più fasi. La prima fase ha previsto la sostituzione dei proiettori scenici e ciclorama tradizionali con sistemi Robert Juliat Dalis 860 e teste mobili LED Ayrton Ghibli e Levante ad alta precisione. La seconda fase, soggetta a gara pubblica, ha previsto il relamping LED dell'intera illuminazione interna e monumentale.

Risultati ambientali ed energetici Notevole riduzione dell'impronta ecologica dell'edificio storico, miglioramento della resa visiva dei costumi tradizionali e stabilità cromatica delle performance.

GöteborgsOperan, Göteborg (Svezia)

Descrizione e tecnologie Transizione integrata verso soluzioni sostenibili nell'illuminazione della scena (inclusi allestimenti complessi come la produzione Wicked nel 2023) e dei magazzini logistici esterni tramite sistemi LED. Il piano ha integrato l'installazione di armadi di ricarica intelligenti ECO Charge per veicoli elettrici del personale e sistemi BACS.

Risultati ambientali ed energetici Certificazione di eccellenza ambientale e allineamento agli obiettivi nazionali svedesi di decarbonizzazione.

Categoria C: interventi di efficientamento mirato su teatri minori, ridotti e spazi ausiliari (dimensioni minori o spazi polifunzionali)

Teatro Secci, Terni (Umbria, Italia)

Descrizione e tecnologie Intervento mirato inserito nell'ambito dei progetti di efficientamento energetico del Comune di Terni finanziati dal PNRR (M1C3 Inv 1.3) per un importo specifico di 231.000 euro. L'intervento ha compreso la riqualificazione termica e il relamping dei corpi illuminanti obsoleti.

Risultati ambientali ed energetici Ottimizzazione energetica complessiva dello spazio teatrale cittadino.

Gran Teatro Giacomo Puccini, Torre del Lago (Toscana, Italia)

Descrizione e tecnologie Sviluppato in collaborazione con la Fondazione Festival Pucciniano e AzzerOCO₂. L'intervento si è concentrato sul relamping completo a LED dell'arena al chiuso e degli ambienti tecnici ausiliari, affiancato

dall'installazione di una pompa di calore integrata con caldaia a gas per la gestione flessibile dei picchi termici invernali ed estivi.

Risultati ambientali ed energetici Riduzione del 30% dei costi energetici di gestione e abbattimento del 50% delle emissioni di carbonio, dimezzate da un valore storico di 240.000 kg/anno a sole 120.000 kg/anno.

Ridotto del Teatro Comunale di Vicenza (Veneto, Italia)

Descrizione e tecnologie Lavori di totale rinnovo degli apparati di illuminazione completati nel 2025 per un importo di 123.000 euro, di cui 70.000 euro specificamente dedicati all'installazione di un'americana motorizzata a soffitto adibita al supporto e al cablaggio rapido di proiettori a LED a basso consumo.

Risultati ambientali ed energetici Drastico risparmio energetico e incremento dei livelli di sicurezza operativa per i tecnici durante le operazioni di taratura, eliminando l'uso di scale mobili.

Piccolo Regio Puccini, Torino (Piemonte, Italia)

Descrizione e tecnologie Integrato nell'ambito dei lotti di ammodernamento del Teatro Regio. Ha previsto la riprogettazione strutturale e il relamping dell'apparato luci di sala e di scena della sala minore da 380 posti, storicamente caratterizzata da elevata dissipazione termica dei sistemi illuminanti alogeni.

Risultati ambientali ed energetici Miglioramento dell'acustica ambientale, riduzione dei consumi di raffrescamento e conformità alle normative di sicurezza vigenti.

National Theatre Green Store, Bermondsey, Londra (Regno Unito)

Descrizione e tecnologie Sviluppato nel 2024 per ospitare oltre 130.000 costumi e 21.000 oggetti di scena, favorendone il riutilizzo inter-teatrale in linea con il Theatre Green Book. L'efficienza energetica dell'infrastruttura è stata basata sul sistema di regolazione automatica B.E.G. DALI-LINK basato su rilevatori di presenza, assenza e regolazione dinamica daylight-responsive.

Risultati ambientali ed energetici Riduzione del consumo elettrico per l'illuminazione del magazzino fino al 60%, accelerando la transizione verso l'obiettivo Net Zero della fondazione.

Sintesi dei dati prestazionali e raccomandazioni strategiche

Analisi comparativa dei benefici energetici, ambientali ed economici

La sintesi dei dati prestazionali emersi dall'analisi dei casi studio evidenzia come la transizione verso tecnologie illuminotecniche a stato solido non sia unicamente un'operazione di parziale riduzione dei consumi elettrici circoscritta, bensì un intervento di ingegneria dei sistemi ad alto valore integrato. L'efficacia degli investimenti effettuati in ambito europeo e nazionale dal 2018 ad oggi può essere valutata attraverso tre principali macro-indicatori:

Il Ritorno economico dell'investimento (ROI) e i tempi di ammortamento. L'analisi economica complessiva dei progetti di relamping LED su scala europea evidenzia un tempo medio di ammortamento dell'investimento iniziale (payback period) pari a 4,3 anni. Questo valore oscilla sensibilmente tra le soluzioni mirate a bassi tempi di rientro (come la sostituzione di faretti alogeni d'accento in spazi di transito, ammortizzabili in meno di un anno) e interventi complessi su palcoscenici storici che richiedono il rifacimento delle infrastrutture di alimentazione, dove i tempi si attestano su valori compresi tra i 5 e i 10 anni.

Nel medio-lungo termine, il risparmio finanziario netto cumulato cresce in modo esponenziale per due fattori principali:

- **risparmio elettrico diretto** Riduzione dei costi di fornitura dell'energia, amplificato nel mercato contemporaneo dall'elevata volatilità delle tariffe elettriche.
- **costi di manutenzione ordinaria azzerati** A differenza delle tradizionali lampade a scarica o alogene, caratterizzate da una vita utile inferiore alle 2.000 ore e dall'elevata incidenza dei pezzi di ricambio (fino a 250 euro a lampada), i moduli LED professionali garantiscono una durata minima di

50.000 ore (pari a oltre 13 anni di normale utilizzo teatrale) senza richiedere alcuna manutenzione ordinaria.

Abbattimento delle emissioni di carbonio e transizione energetica

I dati relativi alle riduzioni climalteranti mostrano performance eccellenti negli interventi integrati. Strutture storiche come il Teatro delle Muse di Ancona o il Teatro Goldoni di Livorno registrano riduzioni delle emissioni di anidride carbonica comprese tra il 40% e il 65% su base annua, derivanti direttamente dalla contrazione della domanda elettrica e dal ricorso preferenziale a vettori prodotti da fonti rinnovabili, in conformità con i requisiti CAM.

Esempio del tasso di abbattimento delle emissioni atmosferiche di anidride carbonica (CO₂):

Teatro delle Muse (Ancona)	Abbattimento del 40,9% (da 366.828 kg a 216.428 kg/anno)
Teatro Goldoni (Livorno)	Abbattimento del 65,0% (circa 78,3 tonnellate evitate/anno)
Gran Teatro Puccini	Abbattimento del 50,0% (da 240.000 kg a 120.000 kg/anno)

Ottimizzazione del comfort ambientale ed acustico

La dismissione delle sorgenti tradizionali elimina la generazione di calore radiante sulla scena, con conseguente riduzione dei consumi elettrici dei compressori dei sistemi HVAC, costretti storicamente a operare a pieno regime per dissipare carichi termici considerevoli in palcoscenico. Sotto il profilo acustico, i nuovi corpi illuminanti, se dotati di dissipatori passivi (tecnologia fanless) o ventole a controllo termico dinamico, abbattano la rumorosità di fondo in sala, preservando le performance acustiche e la chiarezza di diffusione sonora della voce e degli strumenti orchestrali, elemento cardine soprattutto nei teatri storici e d'opera privi di sistemi di amplificazione elettroacustica.

Conclusioni e linee guida per il futuro del settore teatrale sostenibile

La transizione ecologica dei teatri e dei luoghi di spettacolo al chiuso rappresenta una pietra miliare nel raggiungimento degli obiettivi europei di neutralità carbonica fissati per il 2050. Alla luce dei dati tecnici, delle esperienze applicative e dell'analisi comparativa dei casi studio realizzati in Italia ed in Europa tra il 2018 e il 2026, si possono delineare le seguenti conclusioni e raccomandazioni strategiche per i decisori pubblici, i progettisti e i gestori delle strutture culturali:

- **Sistematicità dell'approccio energetico-ambientale** L'intervento di ottimizzazione deve superare la logica del semplice "relamping" spot. È fondamentale redigere diagnosi energetiche approfondite prima dell'avvio della progettazione e considerare l'interazione termica tra sistemi di illuminazione e impianti HVAC, coordinando l'attività degli stessi mediante piattaforme digitali BACS di classe B o superiore per ottimizzare l'efficienza complessiva.
- **Rispetto e convergenza normativa (CAM e DNSH)** Nei contesti di appalto pubblico e nell'accesso a canali di finanziamento agevolati, quale il PNRR, il rispetto dei requisiti CAM non deve essere percepito unicamente come un adempimento burocratico obbligatorio, bensì come uno strumento di garanzia qualitativa. I criteri CAM, prescrivendo sorgenti ad alta efficienza e sistemi di controllo integrati, forniscono linee guida consolidate che soddisfano intrinsecamente i vincoli previsti dal principio DNSH dell'Unione Europea, facilitando l'approvazione tecnica dei progetti.
- **Tutela del patrimonio storico-monumentale tramite la flessibilità tecnologica** I casi studio italiani ed europei dimostrano che è possibile coniugare la sostenibilità energetica con la conservazione e valorizzazione filologica delle sale storiche. L'utilizzo di sorgenti LED a elevato CRI e modulazione cromatica dinamica permette di preservare la resa cromatica dell'oro, degli stucchi e dei tessuti storici dei teatri ottocenteschi, offrendo ai

lighting designer uno spettro qualitativo pari o superiore a quello delle storiche lampade a incandescenza. Nei rari contesti in cui la sostituzione immediata non sia fattibile per ragioni artistiche, la coesistenza temporanea e programmata di tecnologie rappresenta un'accettabile fase di transizione.

- **Adozione di standard e protocolli condivisi (Theatre Green Book)** Fornire obiettivi quantitativi precisi per allargare i confini dell'efficienza energetica dei soli edifici storici alla riduzione delle emissioni legate alla mobilità delle compagnie teatrali, alla gestione circolare delle scenografie e alla drastica limitazione dei rifiuti prodotti durante l'intero ciclo di vita dello spettacolo.

Fonti ufficiali e istituzionali

Normativa, atti istituzionali nazionali ed europei

- Commissione Europea: Indoor Lighting in the Public and Private Service Sectors Guidelines.
- Comune di Milano: Deliberazione della Giunta Comunale per l'applicazione dei CAM (Criteri Ambientali Minimi).
- Comune di Roma Capitale: Il PNRR per la Cultura, Efficientamento Energetico di Cinema e Teatri.
- Comune di Terni e Comune di Napoli: Documentazione sui progetti e finanziamenti PNRR.
- Ministero della Cultura (Direzione Generale Spettacolo): Avvisi pubblici, FAQ e decreti per gli interventi di promozione dell'eco-efficienza e riduzione dei consumi energetici nelle sale teatrali e nei cinema (Investimento 1.3).
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE): Aggiornamento dei Criteri Ambientali Minimi (CAM).

Certificazioni, standard ambientali e protocolli tecnico-scientifici

- Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico (ANIT): I CAM negli appalti pubblici (Arch. Daniela Petrone).
- Banco dell'energia: Bilancio sociale 2024.
- Bureau Veritas Italia: Criteri Ambientali Minimi per gli eventi: in vigore il nuovo Decreto.
- Enagás: Annual Report 2019.
- Hub degli Artisti: Sostenibilità e Cultura, Manuale operativo per l'applicazione dei CAM.

Indagini demoscopiche, report e studi di settore

- Edilportale e Forum PA: Report e analisi sui nuovi modelli di efficienza energetica di cinema e teatri (fondi PNRR).
- Internazionale: Inchieste sull'impatto della crisi energetica nei teatri italiani.
- Joint Research Centre (JRC): LED Projects and Economic Test Cases in Europe.
- Nigerian Journal of Technological Development: Analysis of Integrated Led and Automated Lighting Systems in Nigerian Theatrical Productions.
- ResearchGate: Sustainability in the Opera Sector: Main Drivers and Limitations.

- The One Studio & UPlus Lighting: Guide e report comparativi sulle tecnologie e proiettori LED per il teatro (2026).
- University of Queensland (UQ eSpace): Ecodesign for Large Campus Style Buildings.

Documentazione ufficiale e bilanci dei casi di studio italiani ed europei

- Casi Studio Internazionali: Reportistica e bilanci ambientali di La Monnaie / De Munt (Green Opera, Bruxelles), Opéra national de Paris (Environmental policy e relamping LED), Royal Opera House (Londra, con Igus), National Theatre (Londra, con Atelier Ten), GöteborgsOperan (Svezia) e Teatro de la Zarzuela (Spagna).
- Teatri Milanesi: Progetti di riqualificazione energetica del Teatro alla Scala (partnership con Edison NEXT e Signify) e del Piccolo