

Ricerca di Sistema elettrico



SCP: Definizione di un Framework di KPI per il monitoraggio delle performance di un Positive Energy District (LA2.5)

Chiaroni D., Franzò S., Marcati L., Zucco F.

SCP: Definizione di un Framework di KPI per il monitoraggio delle performance di un Positive Energy District

LA 2.5 - SCP: Definizione di un Framework di KPI per il monitoraggio delle performance di un Positive Energy District (LA2.5)

Chiaroni D., Franzò S., Marcati L., Zucco F. (Politecnico di Milano)

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: Tema di ricerca 1.7 – Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Linea di attività: LA 2.5

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work Package: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Simone Franzò, Politecnico di Milano

Mese inizio previsto: 19

Mese inizio effettivo: 19

Mese fine previsto: 36

Mese fine effettivo: 36

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione: *SCP: Definizione di un Framework di KPI per il monitoraggio delle performance di un Positive Energy District*

Indice

1	Risultati attesi	4
2	Risultati ottenuti.....	5
2.1	Stato dell'arte aggiornato sui PED	5
2.2	Analisi delle esigenze informative per il monitoraggio dei PED.....	5
2.3	Definizione di una matrice di KPI specifici per i PED	5
2.4	Declinazione dei KPI sulle diverse tipologie di PED	5
2.5	Benefici complessivi per il sistema elettrico nazionale e i suoi utenti	5
3	Prodotti attesi	7
4	Prodotti sviluppati	8
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	9
6	Sintesi delle attività svolte	10
7	Dettaglio delle attività svolte.....	11
7.1	Analisi della letteratura e raccolta dei KPI	11
7.2	Costruzione e ottimizzazione del database di KPI	12
7.3	Validazione e contestualizzazione dei KPI.....	12
7.4	Risultati raggiunti	13
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte.....	15
9	Pubblcazioni scientifiche	16
10	Eventi di disseminazione	17

Indice delle figure

Figura 1 - Macrostep del progetto	11
Figura 2 - ottimizzazione del database dei KPI.....	12
Figura 3 - confronto fra la distribuzione dei KPI trovati con l'analisi iniziale con quelli definiti alla fine.....	13
Figura 4 - Estratto dal database finale dei KPI	13

1 Risultati attesi

I risultati attesi da questa linea di attività sono:

- Stato dell'arte aggiornato relativo ai Positive Energy District (PED) e di possibili indicatori energetici e di performance già definiti per essi, a partire da letteratura, progetti in corso e normativa.
- Analisi delle esigenze informative reali relative al monitoraggio dei PED.
- Definizione della matrice dei KPI (dataset) per il monitoraggio dei PED e della metodologia per declinarli in sottoinsiemi sulle diverse tipologie di PED
- Rapporto tecnico: "Definizione di un Framework di KPI per il monitoraggio delle performance di un Positive Energy District".

2 Risultati ottenuti

2.1 Stato dell'arte aggiornato sui PED

L'analisi della letteratura scientifica, dei progetti pilota in corso e delle normative vigenti ha permesso di fornire una panoramica esaustiva sui PED. L'obiettivo è stato quello di mappare e comprendere le tecnologie, le strategie e i modelli operativi attualmente utilizzati. Questa attività ha consolidato una base di conoscenze per il successivo sviluppo di strumenti di misurazione delle performance per i PED, contribuendo a identificare le migliori pratiche a livello nazionale e internazionale.

2.2 Analisi delle esigenze informative per il monitoraggio dei PED

Il progetto ha definito le informazioni chiave necessarie per valutare in modo dettagliato le performance energetiche, ambientali e sociali dei PED. Questa analisi ha evidenziato la necessità di integrare dati eterogenei, come quelli relativi ai consumi energetici, alle emissioni di gas serra, alla flessibilità della rete e alla mobilità sostenibile. Questo ha posto le basi per la progettazione di un sistema di monitoraggio capace di supportare l'evoluzione dei PED e la loro integrazione nelle infrastrutture energetiche nazionali.

2.3 Definizione di una matrice di KPI specifici per i PED

È stato sviluppato un dataset composto da 189 KPI, organizzati secondo quattro pillar fondamentali: efficienza energetica, energia rinnovabile, flessibilità energetica e mobilità. A questi si sono aggiunte dimensioni trasversali legate alla sostenibilità ambientale e sociale, in modo da fornire una valutazione più estesa delle performance dei PED. Questo risultato offre uno strumento che consente di monitorare aspetti come la riduzione delle emissioni, l'efficienza delle risorse e la qualità della vita nei PED. Grazie a questo strumento, è possibile valutare con precisione il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione e sostenibilità urbana e tale lista potrà essere agevolmente usata per lo sviluppo di UrbanDataset per il monitoraggio dei PED.

2.4 Declinazione dei KPI sulle diverse tipologie di PED

Nel corso dello sviluppo del dataset di KPI è stata tenuta in considerazione la necessità di poter adattare il set di KPI a specifiche configurazioni di PED, quali autonomo, dinamico, virtuale e candidato, considerando anche le caratteristiche dei contesti urbani, periferici e rurali. Questo approccio garantisce una maggiore flessibilità, consentendo di personalizzare il set di metriche utilizzate in base alle peculiarità di ogni progetto.

2.5 Benefici complessivi per il sistema elettrico nazionale e i suoi utenti

L'adozione del framework di KPI consente di monitorare l'uso delle risorse rinnovabili, i consumi energetici e l'integrazione della mobilità sostenibile, con lo scopo di ottimizzare generazione e consumo e ridurre la dipendenza dalle fonti fossili grazie alla maggiore integrazione delle energie pulite, coerentemente con gli obiettivi dei PED. La capacità di monitorare e gestire in modo efficace la flessibilità energetica dei PED contribuisce a migliorare la stabilità della rete, riducendo i rischi di sovraccarichi e interruzioni.

Perseguendo gli obiettivi europei e nazionali di neutralità climatica, i PED diventano modelli replicabili per la progettazione di quartieri sostenibili che coinvolgano in modo attivo i propri cittadini. Infatti, il monitoraggio continuo delle performance dei PED, tramite l'adozione del framework sviluppato, consente al decision-maker a livello di città di agire sulla base di un

insieme di indicatori basati su dati reali, e ai cittadini di aumentare la propria consapevolezza energetica e il loro contributo al sistema complessivo.

3 Prodotti attesi

Non sono stati previsti prodotti hardware/software nell'ambito della LA.

4 Prodotti sviluppati

Non sono stati sviluppati prodotti hardware/software nell'ambito della LA in quanto non previsti.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non sono stati riscontrati scostamenti tecnici/economici o criticità rispetto al preventivo.

6 Sintesi delle attività svolte

Il progetto ha sviluppato un framework di KPI per monitorare le performance dei PED, fondamentali nella transizione energetica. La metodologia si è articolata in tre fasi: analisi della letteratura, costruzione del database e validazione dei KPI. La prima fase ha raccolto 570 KPI, organizzati in quattro pillar principali (efficienza energetica, rinnovabili, flessibilità e mobilità) e dimensioni di sostenibilità. La seconda fase ha ottimizzato il database, eliminando duplicati, integrando KPI di Smart Cities quando utili, e creando nuovi indicatori. La terza fase ha validato il database confrontandolo con progetti pilota europei. Il risultato è un database unico con 189 KPI, utile per monitorare i PED e supportare policy e strategie urbane. Il progetto offre un modello di monitoraggio replicabile per rendere le città e i relativi distretti più sostenibili.

7 Dettaglio delle attività svolte

Il progetto si è concentrato sullo sviluppo di un framework integrato di KPI per il monitoraggio delle performance dei PED. I PED rappresentano un elemento centrale della transizione energetica e dell'evoluzione verso città più sostenibili, grazie alla loro capacità di coniugare produzione e consumo di energia in modo ottimizzato e a emissioni nette zero. Questo progetto, parte di un più ampio contesto di ricerca, ha avuto come obiettivo principale quello di fornire concetti e strumenti per supportare la progettazione e il monitoraggio dei PED, attraverso la creazione di un database di KPI dedicati.

La metodologia adottata è stata suddivisa in tre fasi principali, ciascuna caratterizzata da specifiche attività e risultati intermedi. Questo approccio strutturato ha garantito una comprensione approfondita del contesto e un efficace sviluppo dei risultati.

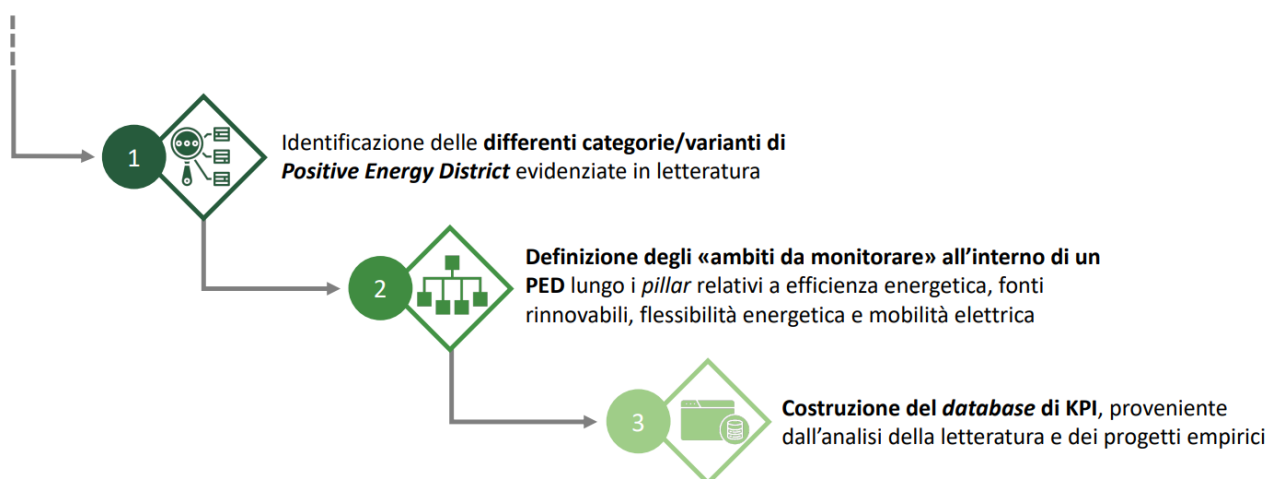


Figura 1 - Macrostep del progetto

7.1 Analisi della letteratura e raccolta dei KPI

La prima fase è stata dedicata a un'analisi della letteratura scientifica e dei contributi empirici relativi ai PED e ai KPI urbani. Attraverso l'utilizzo di motori di ricerca accademici come Google Scholar e Scopus, è stato possibile individuare 570 KPI, sviluppati o utilizzati in precedenti progetti di ricerca o iniziative urbane. La raccolta è stata estesa a report di progetti pilota e iniziative di Smart Cities, che hanno fornito un ulteriore supporto per comprendere le dimensioni tecniche, ambientali e sociali dei PED.

I KPI raccolti sono stati classificati in un framework che si basa sui quattro pillar fondamentali dei PED: efficienza energetica, energia rinnovabile, flessibilità energetica e mobilità. A questi sono state aggiunte ulteriori dimensioni legate alla sostenibilità ambientale (emissioni di gas serra e gestione dei rifiuti) e sociale (governance, innovazione e performance economica). Ogni KPI è stato analizzato in dettaglio per descriverne la modalità di calcolo, l'unità di misura, la frequenza di aggiornamento e l'ambito di applicazione.

Questa fase ha permesso di costruire una solida base di partenza, evidenziando tuttavia alcune lacune significative. Ad esempio, molti KPI esistenti presentavano duplicazioni o erano scarsamente adattabili al contesto specifico dei PED, rendendo necessario un lavoro approfondito di revisione e integrazione.

7.2 Costruzione e ottimizzazione del database di KPI

La seconda fase ha riguardato la costruzione del database finale dei KPI, attraverso un processo metodologico in tre step: rimozione dei duplicati, integrazione di nuovi KPI e gap filling. Il primo step ha permesso di eliminare KPI ridondanti, semplificando l'analisi e garantendo l'unicità degli indicatori presenti. Successivamente, sono stati integrati KPI provenienti da iniziative di Smart Cities, arricchendo il database con indicatori rilevanti per il contesto urbano. Infine, per colmare eventuali lacune, sono stati sviluppati nuovi KPI ad hoc, con particolare attenzione alla caratterizzazione del PED e agli aspetti di sostenibilità sociale e ambientale.

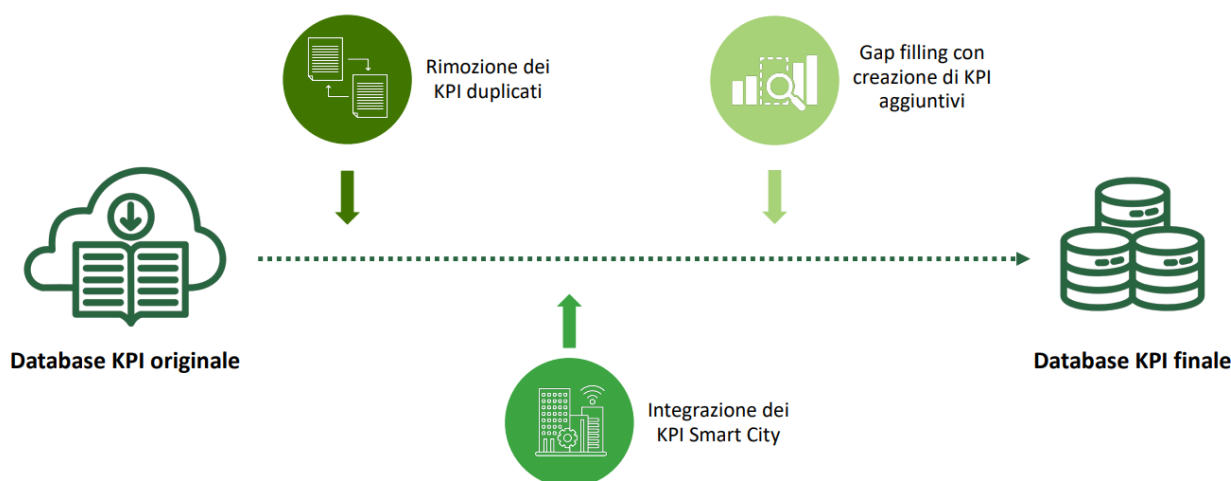


Figura 2 – ottimizzazione del database dei KPI

Il risultato di questa fase è stato un database unico composto da 189 KPI specifici per i PED, organizzati secondo una struttura modulare che ne facilita l'applicazione pratica. Questo set di indicatori consente di monitorare aspetti chiave come la produzione e il consumo di energia rinnovabile, la gestione della flessibilità energetica, l'efficienza degli edifici, l'adozione di infrastrutture di mobilità elettrica e gli impatti sociali ed economici dei PED.

7.3 Validazione e contestualizzazione dei KPI

La terza e ultima fase del progetto si è concentrata sulla validazione e sulla contestualizzazione del database, per garantire la sua applicabilità nei diversi scenari urbani. Questa attività ha incluso un confronto tra i KPI sviluppati e le caratteristiche specifiche di PED in fase di

progettazione o realizzazione, con particolare attenzione alle differenze tra contesti urbani ad alta densità abitativa e quartieri periferici o di nuova costruzione.

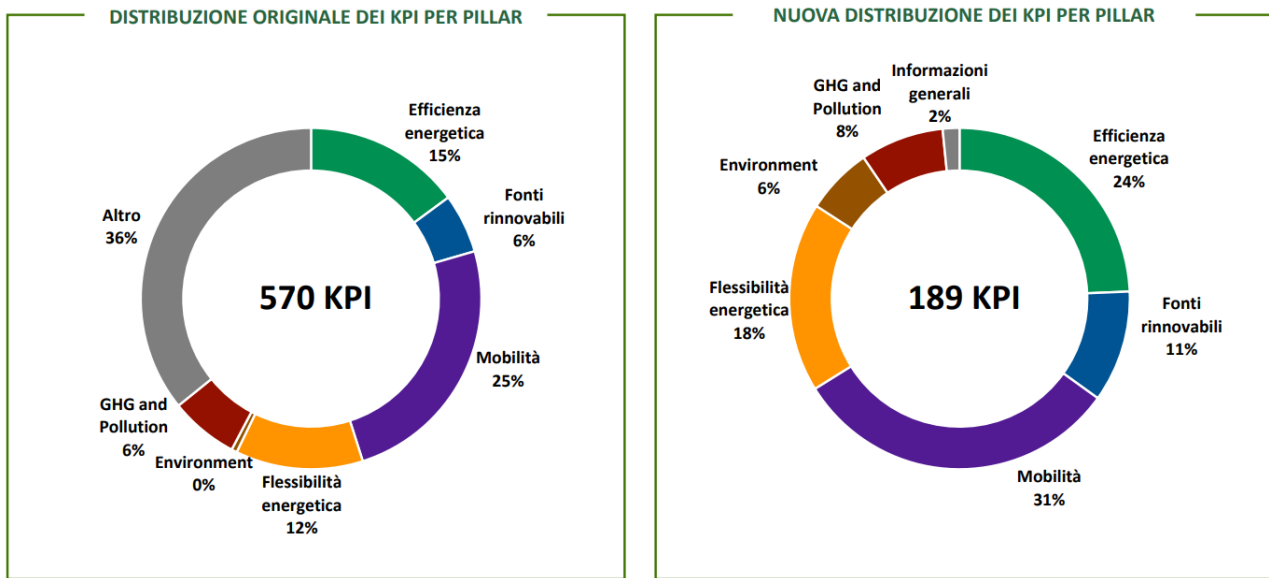


Figura 3 - confronto fra la distribuzione dei KPI trovati con l'analisi iniziale con quelli definiti alla fine

#	Nome KPI	Pillar	Sub-pillar	Qualitativo/Quantitativo	Descrizione KPI	Metodo di calcolo	Frequenza aggiornamenti	Unità di misura	Stato/condizione	PR
1	Numero di edifici presenti all'interno dei confini geografici del PED	General information	General Information	Quantitativo	L'indicatore quantifica il numero di edifici presenti all'interno dei confini geografici del PED	Conteggio del numero di edifici presenti all'interno dei confini geografici del PED	Annuale	#	Statico	1
2	Numero di unità abitative presenti all'interno dei confini geografici del PED	General information	General Information	Quantitativo	L'indicatore quantifica il numero di unità abitative presenti all'interno dei confini geografici del PED	Conteggio del numero di unità abitative presenti all'interno dei confini geografici del PED	Annuale	#	Statico	1
3	Popolazione del PED	General information	General Information	Quantitativo	L'indicatore quantifica il numero di abitanti all'interno dei confini geografici del PED	Conteggio del numero di abitanti all'interno dei confini geografici del PED	Annuale	#	Statico	1
4	Generazione elettrica da FER all'interno del distretto (confini geografici)	Renewables Sources	RS - electrical energy production	Quantitativo	L'indicatore misura la quantità di energia elettrica generata da impianti FER elettrici presenti all'interno del perimetro geografico del distretto	Sommatoria per tutti gli n impianti FER elettrici presenti all'interno del confine geografico del distretto (della produzione elettrica dell'impianto FER elettrico "i"esimo)	annuale	MWh	statico	3
5	Generazione termica da FER all'interno del distretto (confini geografici)	Renewables Sources	RS - thermal energy production	Quantitativo	L'indicatore misura la quantità di energia termica generata da impianti FER termici presenti all'interno del perimetro geografico del distretto	Sommatoria per tutti gli n impianti FER termici presenti all'interno del confine geografico del distretto (della produzione termica dell'impianto FER termico "i"esimo)	annuale	MWh	statico	3
6	Generazione elettrica da FER all'interno del distretto (confini virtuali)	Renewables Sources	RS - electrical energy production	Quantitativo	L'indicatore misura la quantità di energia elettrica generata da impianti FER elettrici presenti all'interno del perimetro virtuale del distretto. In questo contesto si considerano non solo gli impianti FER elettrici che si trovano effettivamente nel confine geografico del distretto, ma anche gli impianti FER elettrici che si trovano all'esterno del distretto ma che fanno parte della sua rete virtuale fornendo energia elettrica per il suo funzionamento (vedasi concetto delle centrali elettriche virtuali - VPEI)	Sommatoria per tutti gli n impianti FER elettrici presenti all'interno del confine virtuale del distretto (della produzione elettrica dell'impianto FER elettrico "i"esimo)	annuale	MWh	statico	2
7	Generazione termica da FER all'interno del distretto (confini virtuali)	Renewables Sources	RS - thermal energy production	Quantitativo	L'indicatore misura la quantità di energia termica generata da impianti FER termici presenti all'interno del perimetro virtuale del distretto. In questo contesto si considerano non solo gli impianti FER termici che si trovano effettivamente nel confine geografico del distretto, ma anche gli impianti FER termici che si trovano all'esterno del distretto ma che fanno parte della sua rete virtuale fornendo energia termica tramite, ad esempio, l'utilizzo di centrali di tele riscaldamento o teleaffrescamento.	Sommatoria per tutti gli n impianti FER termici presenti all'interno del confine virtuale del distretto (della produzione termica dell'impianto FER termico "i"esimo)	annuale	MWh	Statico	3
8	Percentuale di consumi finali di energia elettrica degli edifici del PED	Renewables	RS - electrical	Quantitativo	L'indicatore misura la quota di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili consumata dagli edifici del PED	Sommatoria dei consumi di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili per ogni i-esima unità di consumo presente all'interno degli n-esimi edifici del PED, nell'anno	Annuale	%	Dinamico	2

Figura 4 - Estratto dal database finale dei KPI

7.4 Risultati raggiunti

Il progetto ha raggiunto obiettivi sia in termini di risultati concreti sia di impatti più ampi sulla ricerca e la pratica.

Dal punto di vista pratico, il database finale rappresenta un riferimento per il monitoraggio delle performance dei PED, offrendo metriche standardizzate per valutare il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità, non solo a livello energetico e ambientale, ma anche sociale. Inoltre, l'integrazione di KPI innovativi ha permesso di rispondere alle esigenze specifiche di contesti diversi, aumentando la scalabilità e la flessibilità del framework. In particolare questo database rappresenta un riferimento importante per il possibile inserimento futuro di UrbanDataset per il monitoraggio dei PED all'interno dell'ontologia SCPS ENEA (LA 2.4).

A livello di ricerca il progetto rappresenta un avanzamento nello studio di un paradigma ancora emergente quale quello dei PED. La metodologia adottata e i risultati raggiunti vanno ad aggiungersi a quanto già disponibile dalla precedente letteratura, fornendo un modello che raccolga un set di KPI dedicati ai PED e focalizzato sia sui quattro pilastri che su altre aree della sostenibilità, replicabile per futuri studi e iniziative nel campo della sostenibilità urbana.

Si sottolineano comunque alcuni punti di attenzione riscontrati durante il progetto. Una delle principali sfide incontrate è stata l'eterogeneità dei KPI disponibili, spesso caratterizzati da approcci metodologici diversi e criteri di calcolo non uniformi. Per affrontare questa problematica, è stato condotto un lavoro di normalizzazione dei dati e di standardizzazione delle definizioni, garantendo la coerenza del database. Inoltre, l'adattamento dei KPI esistenti ai contesti specifici dei PED ha richiesto un approccio creativo e flessibile, che ha portato allo sviluppo di nuovi indicatori per colmare le lacune identificate. Un altro rilevante punto di attenzione è la complessità intrinseca dei PED, che richiedono un elevato livello di integrazione tra tecnologie, infrastrutture e utenti. Per rispondere a questa esigenza, il database è stato progettato per includere KPI trasversali, in grado di catturare le interazioni tra i diversi pillar e di supportare una visione a tutto tondo delle performance dei PED.

Alla luce di ciò, si considera come ulteriori sviluppi dell'attività possano andare sia a raffinare ulteriormente il dataset sulla base di ulteriori variabili di nuova rilevanza, sia, e soprattutto, ad applicare i KPI sviluppati per valutarne l'effettiva efficacia e utilità nel monitoraggio delle performance dei PED.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Non è stata utilizzata alcuna consulenza all'interno della LA.

9 Pubblicazioni scientifiche

Dall'attività non sono scaturite pubblicazioni.

10 Eventi di disseminazione

Dall'attività non sono scaturiti eventi di disseminazione.