POLITECNICO
MILANO 1863

Valutazione degli Impatti Cumulativi

Analisi critica delle pratiche correnti e sviluppo di un approccio metodologico applicato a un caso reale

Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

CANDIDATO
Chiara Cavallini

RELATORE
Arianna Azzelino

DATA
10 Dicembre 2025

CONTENUTI

1.	INTRODUZIONE	4
2.	INQUADRAMENTO TEORICO E NORMATIVO DELLA CEA	6
2.1	IL CONCETTO DI IMPATTO CUMULATIVO	7
2.2	DEFINIZIONE DEGLI IMPATTI CUMULATIVI	8
2.2.1	International finance corporation - IFC	8
2.2.2	Council on environmental quality (CEQ)	10
2.2.3	International association for impact assessment (IAIA)	11
2.2.4	Environmental protection agency (U.S. EPA)	11
2.2.5	Commissione Europea	12
2.2.6	European Environmental Agency (EEA)	12
2.2.7	World Bank	13
2.2.8	Definizioni di impatti cumulativi in Italia	14
2.2.9	Altre definizioni dalla letteratura	16
2.3	QUADRO NORMATIVO INTERNAZIONALE ED EUROPEO	16
2.3.1	World Bank – Environmental and Social Framework (2016)	17
2.3.2	International Finance Corporation (IFC) – Good Practice Handbook	17
2.3.3	Asian Development Bank (ADB) – *Safeguard Policy Statement* (2009)	17
2.3.4	Council Directive 92/43/EEC (1992) on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora (Habitats Directive)	18
2.3.5	Directive 2001/42/EC (2001) on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment (SEA Directive)	18
2.3.6	Directive 2011/92/EU (2011) on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment	19
2.3.7	Directive 2014/52/EU (2014) on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment	19
2.3.8	European Commission, Directorate-General XI (Environment, Nuclear Safety and Civil Protection) - 1999	19
2.3.9	U.S. Environmental Protection Agency (EPA) – Cumulative Impacts Research: Recommendations for Epa's Office Of Research And Development (2022)	20
2.4	SFIDE E CRITICITÀ NELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI CUMULATIVI	20
3.	PROPOSTA METODOLOGICA PER LA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI CUMULATIVI	22
3.1	IDENTIFICAZIONE DELLE COMPONENTI AMBIENTALI DI VALORE (VEC)	23
3.1.1	Questionari	24
3.1.2	Consultazione dei portatori di interesse	27
3.1.3	Checklist	28
3.2	RECUPERO DELLE INFORMAZIONI DI BASELINE	29
3.3	DEFINIZIONE DELLO SCREENING BUFFER	29
3.3.1	Definizione dei confini spaziali	29
3.3.2	Confini temporali	30
3.4	RICOGNIZIONE PRELIMINARE DEI PROGETTI RILEVANTI	31
3.5	FILTRO SULLO STATO DI AVANZAMENTO	32
3.6	FILTRO SPAZIO-TEMPORALE	32

3.6.1 Filtro spaziale 33
3.6.2 Filtro temporale 33
3.7 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI CUMULATIVI 34
3.7.1 Esclusione della componente sociale 34
3.7.2 Identificazione degli indicatori 34
3.7.3 Confronto normalizzato degli indicatori con la soglia 35
3.7.4 Aggregazione degli indicatori 38
3.7.5 Aggregazione dei progetti 39
3.8 ANALISI DI SENSITIVITÀ DEL METODO 47
4. APPLICAZIONE AL CASO STUDIO 48
4.1 IDENTIFICAZIONE DELLE COMPONENTI AMBIENTALI DI VALORE (VEC) 48
4.2 DEFINIZIONE DELLO SCREENING BUFFER 53
4.3 RICOGNIZIONE PRELIMINARE DEI PROGETTI POTENZIALMENTE RILEVANTI 55
4.4 APPLICAZIONE DEI FILTRI 59
4.5 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI CUMULATIVI 62
4.5.1 Identificazione degli indicatori 62
4.5.2 Confronto normalizzato con le soglie 68
4.5.3 Aggregazione indicatori 70
4.5.4 Aggregazione dei progetti 70
4.6 ANALISI DI SENSITIVITÀ DEL METODO 73
4.6.1 Validazione dei casi estremi 74
4.6.2 Sensibilità al variare di "$b0$" 74
4.7 ANALISI DEI RISULTATI OTTENUTI 77
4.7.1 Misure di mitigazione 80
4.7.2 Risultati a valle dell'applicazione delle misure di mitigazione 86
5. CONCLUSIONI 87
5.1 SCHEMA METODOLOGICO DELL'ELABORATO 87
5.2 ASPETTI POSITIVI DELLA METODOLOGIA PROPOSTA 88
5.3 CRITICITÀ EVIDENZIATE NELLA METODOLOGIA PROPOSTA 89
5.4 SVILUPPI FUTURI DELLA RICERCA 91
6. BIBLIOGRAFIA 93
7. SITOGRAFIA 96

LISTA DELLE TABELLE

TABELLA 1 SINTESI METODOLOGICA 22
TABELLA 2 VEC - ESEMPI 23
TABELLA 3 CATEGORIZZAZIONE DEGLI STAKEHOLDER 27
TABELLA 4 RIFERIMENTI PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE SOGLIE 35
TABELLA 5 FORMULE PER IL CONFRONTO NORMALIZZATO IN FUNZIONE DEL TIPO DI SOGLIA 37
TABELLA 6 PARAMETRI DI PROPORZIONALITÀ TEMPORALE – PROGETTO A 40
TABELLA 7 VALORE DI B_0 IN RELAZIONE ALLO STATO DI BASELINE 45

TABELLA 8	RECUPERO DELLE INFORMAZIONI DI BASELINE	49
TABELLA 9	DEFINIZIONE DELLO SCREENING BUFFER	53
TABELLA 10	LONG LIST DI PROGETTI POTENZIALMENTE RILEVANTI	55
TABELLA 11	IDENTIFICAZIONE DEGLI INDICATORI	62
TABELLA 12	IDENTIFICAZIONE DELLE SOGLIE	68
TABELLA 13	CALCOLO DI S^*	71
TABELLA 14	DEFINIZIONE DI B_0	72
TABELLA 15	RISULTATI	77
TABELLA 16	INTERPRETAZIONE DELL'INDICE CUMULATIVO	79
TABELLA 17	ANALISI DEI RISULTATI	79
TABELLA 18	MISURE DI MITIGAZIONE	80
TABELLA 19	RISULTATI A SEGUITO DELL'APPLICAZIONE DELLE MISURE DI MITIGAZIONE	86

LISTA DELLE FIGURE

FIGURA 3	SEZIONE 1: ABSTRACT E CONSENSO INFORMATO	24
FIGURA 4	SEZIONE 2: PROFILO DEL RISPONDENTE	25
FIGURA 5	SEZIONE 3: INDIVIDUAZIONE DELLE COMPONENTI DI VALORE	26
FIGURA 6	CHECKLIST PROPOSTA	28
FIGURA 7	ESEMPIO DI TIMELINE	33
FIGURA 8	ANALISI DELLA TIMELINE PER IL CALCOLO DEGLI INDICI DI PROPORZIONALITÀ	40
FIGURA 9	ANDAMENTO ESPONENZIALE SATURANTE DEGLI IMPATTI CUMULATIVI	42
FIGURA 10	VALORI OSSERVATI E STIMATI A CONFRONTO	46
FIGURA 11	BUFFER SPAZIALI DELLE COMPONENTI AMBIENTALI DI VALORE	54
FIGURA 12	INDIVIDUAZIONE SPAZIALE DEI PROGETTI POTENZIALMENTE RILEVANTI	59
FIGURA 13	ESEMPIO DI ANALISI SPAZIALE	60
FIGURA 14	OUTPUT FILTRO SPAZIALE	60
FIGURA 15	TIMELINE	61
FIGURA 16	OUTPUT FILTRO TEMPORALE	62
FIGURA 17	ANALISI DI SENSITIVITÀ PER IL COEFFICIENTE DI SATURAZIONE	75
FIGURA 18	VARIABILITÀ IN FUNZIONE DI S^*E I_{CEA}	76

1. INTRODUZIONE

La Valutazione degli Impatti Cumulativi (*CEA – Cumulative Effects Assessment*) si colloca nell'ambito della Valutazione di Impatto Ambientale (VIA), procedimento tecnico-amministrativo finalizzato all'analisi sistematica degli effetti potenziali di un progetto, pubblico o privato, sull'ambiente e sulla salute umana.

La VIA rappresenta uno strumento preventivo e obbligatorio per numerose tipologie di opere e progetti — come definito negli allegati I e II della Direttiva 2011/92/UE — che, prima della realizzazione, devono conformarsi a specifici requisiti e limiti ambientali stabiliti dalle normative nazionali o dagli enti sovranazionali competenti, quali la Commissione Europea, l'IFC (*International Finance Corporation*) e le banche mondiali.

Essa si colloca pertanto in una fase preliminare rispetto al rilascio dell'autorizzazione e alla successiva realizzazione dell'intervento, con l'obiettivo di identificare, descrivere e valutare gli impatti ambientali attesi, definendo al contempo misure di prevenzione, mitigazione o compensazione volte a garantire un elevato livello di tutela ambientale e a supportare il processo decisionale delle autorità competenti.

All'interno di questo quadro, la valutazione degli impatti cumulativi costituisce un'estensione o un capitolo specifico della VIA, talvolta richiesta anche come procedura autonoma. Essa riguarda l'analisi degli effetti ambientali e sociali generati dall'incremento dell'impatto complessivo dovuto al progetto proposto *in combinazione con altri interventi esistenti, passati o ragionevolmente prevedibili*, al fine di stimare l'insieme delle pressioni esercitate su un determinato sistema ambientale e valutare la sostenibilità complessiva del contesto territoriale.

La scelta di approfondire questo tema trae origine dall'esperienza professionale recentemente maturata presso ERM – *Environmental Resources Management*, società internazionale di consulenza ambientale con sede in oltre quaranta Paesi. In particolare, nel team *Capital Project Delivery* (CPD) di *ERM Italy*, ho avuto l'opportunità di partecipare allo sviluppo di valutazioni di impatto ambientale e sociale per progetti su scala globale, entrando in contatto diretto con il tema degli impatti cumulativi.

Tale esperienza mi ha permesso di constatare la notevole complessità della CEA e, soprattutto, la mancanza di un quadro metodologico chiaro e condiviso a livello internazionale che possa guidare efficacemente l'analista nel processo di valutazione degli impatti cumulativi.

A differenza degli impatti riconducibili a un singolo progetto, gli impatti cumulativi richiedono di considerare interazioni multiple e livelli di complessità superiori, in quanto riflettono l'effetto combinato del progetto proposto con tutte le altre attività antropiche presenti e pianificate sul territorio.

L'obiettivo della CEA è dunque quello di fornire una rappresentazione più realistica delle pressioni ambientali e sociali complessive, permettendo di valutare se il cumulo degli effetti derivanti risulti effettivamente sostenibile dal punto di vista sociale e ambientale.

Questa tipologia di valutazione presenta tuttavia criticità metodologiche rilevanti, dovute in gran parte all'*assenza di linee guida univoche e di standard procedurali riconosciuti.*

Sebbene la CEA rappresenti un ambito relativamente recente all'interno delle pratiche di valutazione ambientale, l'aumento della consapevolezza sui cambiamenti climatici, nonché la crescente attenzione verso la sostenibilità, hanno spinto governi, istituzioni e proponenti di grandi opere a richiedere analisi sempre più approfondite e specifiche.

L'interesse verso il tema e il persistente vuoto metodologico riscontrato a livello internazionale hanno motivato la redazione del presente elaborato di tesi, strutturato in due macro-sezioni:

- lo sviluppo di una metodologia universale, applicabile a differenti tipologie di progetti e contesti territoriali;
- l'applicazione pratica della metodologia proposta a un caso studio reale.

L'obiettivo è quello di fornire uno strumento operativo chiaro e applicativo, in grado di guidare l'analista in tutte le fasi di redazione di una CEA, favorendo un approccio trasparente, replicabile e scientificamente solido alla valutazione degli impatti cumulativi.

2. INQUADRAMENTO TEORICO E NORMATIVO DELLA CEA

Da oltre cinquant'anni Paesi come Stati Uniti e Canada considerano la CEA un elemento chiave della valutazione ambientale, qualificandola come una *best practice*. Oggi la sua applicazione si è progressivamente diffusa anche in molti altri Paesi, ed è sempre più riconosciuta come uno strumento imprescindibile per garantire un processo decisionale basato sulla valutazione ambientale efficace e sostenibile.

La crescente attenzione verso gli impatti cumulativi è testimoniata sia dall'inclusione di riferimenti specifici in numerose legislazioni nazionali, sia dall'interesse crescente mostrato da organizzazioni internazionali, istituzioni finanziarie e società civile. Tuttavia, a questa domanda crescente non corrisponde un quadro normativo e metodologico altrettanto strutturato. La normativa europea e internazionale in materia è limitata, le definizioni sono generiche, mentre le metodologie proposte risultano spesso poco concrete, eccessivamente astratte, prive di indicazioni operative precise. Per tale ragione, numerosi Stati e diverse agenzie federali hanno elaborato procedure e metodi propri, sviluppati in maniera indipendente, generando un panorama frammentato e disomogeneo. Nei Paesi in via di sviluppo, la situazione è ulteriormente aggravata dalla carenza di un quadro coordinato di pianificazione, dall'assenza di istituzioni solide e da limiti significativi in termini di capacità tecniche e risorse, che rendono complessa persino la realizzazione di una VIA, a maggior ragione di una CEA.

Parallelamente, anche le Organizzazioni Non Governative (ONG) e la società civile hanno iniziato a porre crescente attenzione agli impatti cumulativi, riconoscendoli come una delle principali criticità ambientali contemporanee. Questa pressione "dal basso" ha contribuito ad ampliare il dibattito e ad accelerare l'inserimento della CEA in un numero sempre maggiore di contesti normativi.

Negli Stati Uniti la valutazione ambientale moderna nasce con il *National Environmental Policy Act* (NEPA) del 1969. Sebbene la versione originaria non contemplasse esplicitamente gli impatti cumulativi, i regolamenti emanati dal *Council on Environmental Quality* (CEQ) nel 1979 introdussero l'obbligo di considerarli in tutte le analisi NEPA. Nonostante ciò, la pratica si è dimostrata da subito problematica. Nei quindici anni successivi, le agenzie federali spesso trascurarono gli impatti cumulativi nei propri documenti, riservando loro trattazioni marginali o del tutto assenti, con un conseguente incremento dei contenziosi giudiziari sulla legittimità delle valutazioni (*Bass, Herson e Bogdan, 2001; Burris e Canter, 1997a; Cooper e Canter, 1997; Herson e Bogdan, 1991; Rumrill e Canter, 1997*).

Nonostante gli sforzi del CEQ, la valutazione degli impatti cumulativi continua dunque a rappresentare una delle maggiori fonti di incertezza per i professionisti NEPA, i quali invocano con sempre maggiore forza la necessità di linee guida più rigorose e di una formazione specifica in materia (*Smythe e Isber, 2003*).

In sintesi, la CEA è oggi uno strumento sempre più richiesto e formalmente riconosciuto in numerosi contesti nazionali e internazionali, ma la sua applicazione concreta rimane ostacolata dall'assenza di un quadro legislativo uniforme, da metodologie condivise e da definizioni precise. Come osserva Noble (2010), "G*li effetti cumulativi rappresentano una delle questioni più complesse nella valutazione ambientale e nella gestione delle risorse naturali, e la pratica della valutazione degli effetti cumulativi è stata finora ben lontana dal mantenere le sue promesse*".

2.1 IL CONCETTO DI IMPATTO CUMULATIVO

Per comprendere pienamente il significato della metodologia proposta nei capitoli successivi e la complessità concettuale che caratterizza la CEA, è necessario analizzare la natura e la dinamica degli impatti cumulativi.

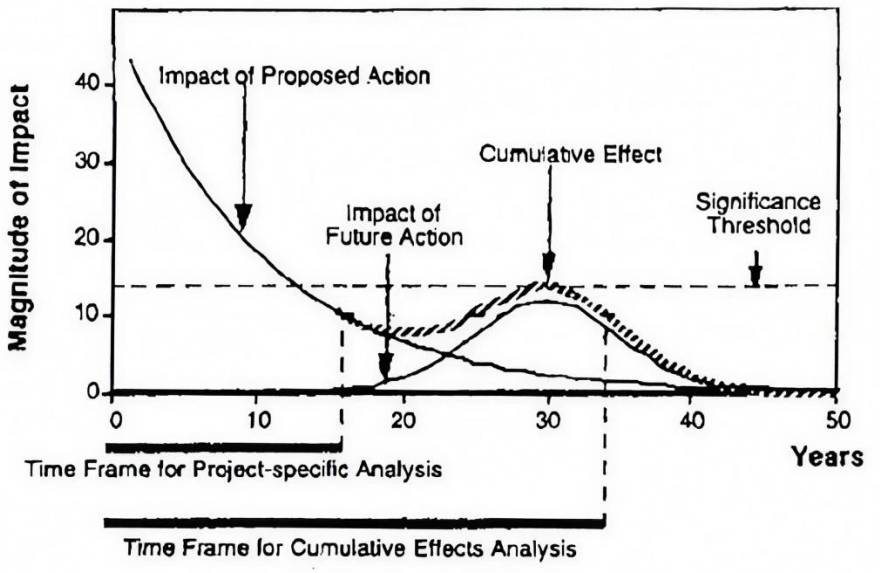
A tal fine, si fa riferimento a un grafico tratto dalle linee guida del *Council on Environmental Quality* (CEQ), pubblicate nel documento *Considering Cumulative Effects Under the National Environmental Policy Act* (1997), considerato tutt'oggi uno dei principali testi di riferimento in materia.

La Figura 1 illustra diverse curve rappresentative delle differenti tipologie di impatto. La prima curva, denominata "*Impact of proposed action"*, mostra l'andamento dell'impatto associato a un singolo progetto: si tratta di una curva decrescente che parte da una determinata magnitudo iniziale e si riduce progressivamente fino ad annullarsi con il cessare dell'azione che l'ha generata. Tale dinamica rappresenta l'evoluzione tipica di un impatto singolo, destinato a diminuire nel tempo.

Quando successivamente interviene una nuova azione (*Impact of future action*), si produce un ulteriore effetto che interagisce con quello preesistente. In questo caso, invece di osservare una riduzione isolata, l'effetto si somma a quello già presente, generando un impatto cumulativo complessivamente più elevato.

Il grafico riporta inoltre una soglia di significatività (S*ignificance threshold*), rappresentata da una linea orizzontale tratteggiata, che indica il limite oltre il quale un impatto diventa significativo, producendo effetti potenzialmente dannosi per le componenti ambientali e la salute umana. È importante sottolineare che due impatti singolarmente non significativi, se sommati, possono superare la soglia di significatività.

Figura ***Error! Bookmark not defined.*** *Evoluzione temporale degli impatti di progetto e degli effetti cumulativi*



Fonte: Council on Environmental Quality (CEQ). (1997). Considering Cumulative Effects Under the National Environmental Policy Act. Washington, D.C.: Executive Office of the President.

Il grafico proposto dal CEQ, per semplicità, rappresenta l'interazione di due sole azioni, ma nella realtà gli impatti che si sovrappongono nel tempo e nello spazio sono generalmente più numerosi. Considerando una singola risorsa o ricettore ambientale, è evidente come gli impatti cumulativi che agiscono su di essa possano essere molteplici, anche perché la maggior parte delle risorse naturali ha già subito significativi processi di antropizzazione.

Di conseguenza, una valutazione esaustiva di tutti gli impatti cumulativi risulta impraticabile. Per tale ragione, l'*International Finance Corporation* (IFC), nel *Performance Standard 1* (2012)[1], ha stabilito che l'analisi debba concentrarsi sugli impatti riconosciuti come rilevanti, in base a considerazioni scientifiche e alle preoccupazioni espresse dalle comunità interessate.

Per questo motivo, la metodologia proposta nel presente elaborato prevede, tra le prime fasi operative, il coinvolgimento degli attori coinvolti (*stakeholder*), al fine di identificare le componenti ambientali e sociali percepite come prioritarie da chi vive e conosce direttamente il territorio oggetto di studio.

2.2 DEFINIZIONE DEGLI IMPATTI CUMULATIVI

Il primo passo per avviare la ricerca di una metodologia solida e rigorosa per la valutazione degli impatti cumulativi consiste nell'analizzare come tale concetto venga definito all'interno della normativa e delle principali linee guida disponibili nel panorama internazionale. Le definizioni rappresentano un elemento cruciale: solo se formulate in maniera univoca, completa e coerente possono costituire un fondamento solido per l'elaborazione di approcci metodologici affidabili. In un ambito complesso e spesso caratterizzato da incertezze concettuali come quello della valutazione degli impatti cumulativi, disporre di definizioni prive di ambiguità è un requisito indispensabile per evitare fraintendimenti interpretativi e lacune applicative. Nelle sezioni seguenti verranno quindi riportate, analizzate e commentate le principali definizioni di impatto cumulativo emerse in letteratura e nei documenti guida internazionali, con l'obiettivo di individuare una definizione di riferimento che possa fungere da base concettuale per la proposta metodologica sviluppata di seguito.

2.2.1 INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION - IFC

L'*International Finance Corporation* (IFC) è un'istituzione finanziaria internazionale che appartiene al Gruppo Banca Mondiale. Fondata nel 1956 e con sede a Washington, l'IFC rappresenta il principale organismo globale dedicato al sostegno del settore privato nei Paesi in via di sviluppo. La sua missione è quella di promuovere lo sviluppo economico sostenibile, la riduzione della povertà e la crescita

[1] *"Cumulative impacts are limited to those impacts generally recognized as important on the basis of scientific concerns and/or concerns from affected communities." – PS1, IFC 2012.*

inclusiva, attraverso il finanziamento e l'assistenza tecnica a imprese private e a partenariati pubblico-privati.

Per quanto riguarda l'IFC sono stati presi in considerazione due documenti:

1. *Performance Standard 1: Assessment and Management of Environmental and Social Risks and Impacts (2012);*
2. *Good Practice Handbook: Cumulative Impact Assessment and Management – Guidance for the Private Sector in Emerging Markets (2013).*

Nel primo documento (*Performance Standard 1: Assessment and Management of Environmental and Social Risks and Impacts*, 2012), gli impatti cumulativi vengono definiti come:

"*Impatti che derivano dall'impatto incrementale, su aree o risorse utilizzate o direttamente interessate dal progetto, di altri sviluppi esistenti, pianificati o ragionevolmente definiti al momento in cui viene condotto il processo di identificazione dei rischi e degli impatti*."

La definizione descrive gli effetti cumulativi come l'impatto incrementale di un progetto sommato a quelli di altri sviluppi esistenti, pianificati o prevedibili al momento della VIA. Tale formulazione presenta però diversi limiti.

Dal punto di vista spaziale, restringere l'analisi alle "*aree o risorse utilizzate o direttamente interessate dal progetto*" è fuorviante: la CEA deve considerare ambiti territoriali più ampi, poiché gli impatti cumulativi derivano dall'interazione di più interventi con aree di influenza anche distanti tra loro.

Inoltre, la definizione trascura due aspetti concettuali essenziali: la dimensione sociale, poiché non considera gli effetti sulle comunità locali, e la natura sinergica degli impatti cumulativi, che non costituiscono una mera somma aritmetica ma possono amplificarsi reciprocamente, generando effetti complessivi di entità superiore alla semplice somma dei singoli contributi.

Nel secondo documento (*Good Practice Handbook: Cumulative Impact Assessment and Management – Guidance for the Private Sector in Emerging Markets*, 2013) la definizione proposta è più articolata:

"Gli impatti cumulativi sono quelli che derivano dagli effetti successivi, incrementali e/o combinati di un'azione, progetto o attività quando vengono sommati ad altri sviluppi esistenti, pianificati e/o ragionevolmente prevedibili in futuro. Per ragioni pratiche, l'identificazione e la gestione degli impatti cumulativi sono limitate a quegli effetti generalmente riconosciuti come importanti sulla base di considerazioni scientifiche e/o delle preoccupazioni delle comunità interessate. Molteplici e successivi impatti ambientali e sociali provenienti da sviluppi esistenti, combinati con i potenziali impatti incrementali derivanti da sviluppi proposti e/o prevedibili in futuro, possono dar luogo a impatti cumulativi significativi che non si verificherebbero nel caso di uno sviluppo isolato."

Rispetto alla definizione precedente, questa versione introduce il riconoscimento esplicito della dimensione sociale degli impatti. Tuttavia, manca ancora un riferimento chiaro alla natura sinergica e non lineare delle interazioni tra effetti, elemento essenziale per coglierne la reale complessità.

Un progresso significativo è rappresentato dal riconoscimento della necessità di selezionare gli impatti rilevanti; tale selezione deve basarsi su criteri scientifici e sulle preoccupazioni delle comunità locali, sottolineando l'importanza del coinvolgimento pubblico nel processo valutativo.

In sintesi, la definizione del 2013 rappresenta un passo avanti verso un approccio più realistico e integrato alla valutazione degli impatti cumulativi, ma resta incompleta per l'assenza di criteri selettivi precisi e del riconoscimento esplicito delle sinergie tra impatti ambientali e sociali.

2.2.2 COUNCIL ON ENVIRONMENTAL QUALITY (CEQ)

Il *Council on Environmental Quality* (CEQ) è un organismo istituito presso la Casa Bianca con il *National Environmental Policy Act* (NEPA) del 1969, con il compito di coordinare e supervisionare le politiche ambientali a livello federale negli Stati Uniti. Il CEQ supporta direttamente il Presidente nella definizione delle strategie in materia ambientale e vigila sull'attuazione della NEPA, che impone alle agenzie federali di valutare gli impatti ambientali delle proprie azioni e dei progetti infrastrutturali.

Nell'ambito delle proprie funzioni, il CEQ ha elaborato linee guida specifiche per la valutazione degli effetti cumulativi, le quali costituiscono un riferimento riconosciuto a livello internazionale.

Nel documento "*Considering Cumulative Effects Under the National Environmental Policy Act. Washington, D.C.: Executive Office of the President – 1997*" il CEQ definisce gli impatti cumulativi come:

"*L'impatto sull'ambiente derivante dall'impatto incrementale dell'azione quando sommato ad altre azioni passate, presenti e ragionevolmente prevedibili in futuro, indipendentemente dall'agenzia (federale o non federale) o dalla persona che intraprende tali altre azioni*"

La clausola che include "*agenzie federali o non federali o persone*" ha un valore prevalentemente giuridico: serve a garantire che tutti i progetti rilevanti siano considerati nella valutazione, evitando esclusioni dovute a questioni di competenza amministrativa. Tuttavia, sul piano concettuale, questo elemento accentua il carattere burocratico della definizione, più che quello scientifico.

Dal punto di vista sostanziale, la definizione presenta diverse criticità: pur menzionando le dimensioni temporali di passato, presente e futuro, non fornisce criteri per delimitare gli orizzonti di analisi; interpreta l'effetto cumulativo come una mera somma incrementale, ignorando la possibile natura sinergica e non lineare delle interazioni; non prevede alcun processo di selezione degli impatti rilevanti, rischiando valutazioni dispersive; infine, si limita a citare l'"*impatto sull'ambiente*" senza includere la componente sociale, oggi considerata parte integrante della valutazione ambientale.

Nonostante rappresenti uno dei riferimenti più citati nella pratica internazionale, questa definizione evidenzia i limiti concettuali e metodologici di un approccio ancora privo di una struttura teorica e operativa capace di guidare efficacemente l'analisi degli impatti cumulativi.

2.2.3 INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR IMPACT ASSESSMENT (IAIA)

L'*International Association for Impact Assessment (IAIA)* è la principale organizzazione internazionale dedicata alla promozione delle migliori pratiche nella valutazione degli impatti ambientali, sociali e strategici. Fondata nel 1980, riunisce esperti e istituzioni di oltre 120 Paesi, costituendo oggi un riferimento globale nella definizione di standard metodologici per la valutazione di impatto ambientale. Nel documento *Cumulative Effects Assessment* (*Blakley, Duinker, Grieg, Hegmann, Noble, 2017*), l'IAIA non fornisce una definizione autonoma di "impatti cumulativi", ma richiama la nota dell'IFC secondo cui la CEA consiste:

(a) nell'analizzare i potenziali impatti e rischi dei progetti proposti nel contesto degli effetti di altre attività umane e di fattori esterni ambientali e sociali sul componente di valore scelto nel tempo; (b) nel proporre misure concrete per evitare, ridurre o mitigare tali impatti e rischi nella misura del possibile.

Questa impostazione introduce il concetto di componente di valore ambientale (VEC, *Valued Environmental Component*), elemento centrale della CEA, definito come qualunque componente — fisica, biologica o sociale — ritenuta di particolare importanza ecologica, culturale o comunitaria.

Il principio cardine di un *approccio VEC-centrico* è valutare gli impatti dal punto di vista della componente stessa, analizzandone le soglie di resilienza: ogni VEC possiede una capacità limitata di assorbire e adattarsi agli impatti, oltre la quale può subire degradazione o collasso. La CEA mira quindi a individuare tali limiti e a mantenere la resilienza del sistema attraverso misure di gestione mirate.

In conclusione, il documento IAIA ha il merito di consolidare il ruolo concettuale delle VEC e di orientare la valutazione verso un'analisi sistemica della resilienza ambientale e sociale. Tuttavia, la mancanza di una definizione propria di impatti cumulativi rappresenta una lacuna concettuale rilevante, che limita la coerenza e la comparabilità delle applicazioni pratiche della CEA a livello internazionale.

2.2.4 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S. EPA)

L'*United States Environmental Protection Agency* (US EPA), istituita nel 1970, è l'agenzia federale indipendente incaricata di tutelare la salute umana e l'ambiente, definendo standard normativi e promuovendo la ricerca e il monitoraggio in ambito ambientale. Riconosciuta come riferimento internazionale, l'EPA ha contribuito in modo sostanziale allo sviluppo di linee guida metodologiche anche nel campo della valutazione degli impatti cumulativi.

Nel documento *Cumulative Impacts Research: Recommendations for EPA's Office of Research and Development* (EPA/600/R-22/014a, 2022), l'EPA definisce:

"*Gli impatti cumulativi sono definiti come la totalità delle esposizioni a combinazioni di fattori di stress chimici e non chimici e i loro effetti sulla salute, sul benessere e sulla qualità della vita*."

Questa definizione, di impostazione fortemente antropocentrica, concentra l'attenzione sugli effetti per la salute umana e il benessere, tralasciando del tutto la dimensione ecologica, che rappresenta il

fulcro della CEA. L'assenza di riferimenti a ecosistemi, specie e processi naturali riduce la portata concettuale dello strumento, avvicinandolo più a una valutazione del rischio sanitario che a un'analisi ambientale integrata.

2.2.5 COMMISSIONE EUROPEA

La Commissione Europea, attraverso la Direzione Generale XI (Ambiente, Sicurezza Nucleare e Protezione Civile), ha pubblicato nel 1999 le Linee guida per la valutazione degli impatti indiretti e cumulativi e delle interazioni tra impatti[2]. Il documento evidenzia la mancanza di una definizione univoca di impatto cumulativo, affermando che "*Le definizioni di impatti indiretti, cumulativi e delle interazioni tra impatti si sovrappongono tra loro e non esistono definizioni universalmente concordate e accettate*". La definizione fornita per gli impatti cumulativi è la seguente:

"Impatti che derivano da cambiamenti incrementali causati da altre azioni passate, presenti o ragionevolmente prevedibili, insieme al progetto."

Questa definizione, pur corretta, riprende sostanzialmente quella del *Council on Environmental Quality* (CEQ), condividendone i limiti principali: un'impostazione prevalentemente incrementale e la mancanza di un esplicito riferimento alla natura sinergica o non lineare degli impatti. Tuttavia, il documento della Commissione Europea introduce un contributo pratico rilevante, fornendo esempi e rappresentazioni grafiche che aiutano a visualizzare come singoli impatti, apparentemente marginali, possano combinarsi generando effetti complessivi significativi. Inoltre, distingue in modo utile tra effetti intra-progetto, dovuti a più fonti d'impatto di uno stesso intervento, e inter-progetto, derivanti dall'interazione tra progetti diversi, evidenziando la necessità di considerarli congiuntamente nella valutazione degli impatti cumulativi.

2.2.6 EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (EEA)

L'*European Environment Agency* (EEA), istituita nel 1990 e con sede a Copenaghen, fornisce informazioni indipendenti e scientificamente fondate sullo stato dell'ambiente in Europa, a supporto delle politiche ambientali e del pubblico. Attraverso la raccolta e l'elaborazione di dati, l'EEA contribuisce alla definizione delle strategie europee in materia di sostenibilità, cambiamenti climatici, biodiversità e gestione delle risorse naturali.

Sul sito dell'*European Environmental Agency* (EEA)[3] è possibile trovare la seguente definizione di impatti cumulativi:

"Gli impatti (positivi o negativi, diretti e indiretti, a lungo e a breve termine) derivanti da una serie di attività distribuite in un'area o in una regione, in cui ciascun effetto preso singolarmente potrebbe

[2] European Commission – Directorate-General XI (Environment, Nuclear Safety and Civil Protection). *Guidelines for the Assessment of Indirect and Cumulative Impacts as well as Impact Interactions*. May 1999. Contract No. NE80328/D1/3. Authors: L.J. Walker & J. Johnston (https://edz.bib.uni-mannheim.de/www-edz/pdf/1999/guideassess.pdf)

[3] cumulative impacts — European Environment Agency

non essere significativo. Tali impatti possono derivare, ad esempio, dall'aumento del volume di traffico, dall'effetto combinato di diverse misure agricole che portano a una produzione più intensiva e a un maggiore uso di sostanze chimiche, ecc. Gli impatti cumulativi includono una dimensione temporale, poiché occorre calcolare l'effetto sulle risorse ambientali risultante dai cambiamenti indotti da azioni passate, presenti e ragionevolmente prevedibili in futuro."

La definizione evidenzia un principio centrale della CEA: impatti individualmente trascurabili possono, nel loro insieme, produrre effetti significativi. È inoltre apprezzabile l'inclusione delle dimensioni spaziale e temporale, che estendono l'analisi oltre i confini del singolo progetto e nel lungo periodo, considerando azioni passate, presenti e future. Tuttavia, pur offrendo una visione più articolata rispetto ad altre definizioni — grazie anche agli esempi concreti — il testo presenta alcune lacune concettuali, tra cui l'assenza di un riferimento esplicito alla componente sociale e al ruolo operativo della CEA come strumento di supporto decisionale e di definizione delle misure di mitigazione e gestione.

2.2.7 WORLD BANK

La *World Bank*, istituita nel 1944 e con sede a Washington D.C., sostiene progetti di sviluppo economico e sociale nei Paesi a basso e medio reddito, fornendo finanziamenti e assistenza tecnica. Nell'ambito delle proprie politiche di salvaguardia ambientale e sociale, ha elaborato un quadro normativo di riferimento volto a garantire una gestione sostenibile dei progetti finanziati.

In questo contesto si colloca il documento *World Bank Environmental and Social Framework, Washington D.C., World Bank, 2016*, dal quale emerge la seguente definizione di impatto cumulativo:

"*L'impatto cumulativo di un progetto è l'impatto incrementale del progetto quando viene aggiunto agli impatti di altri sviluppi pertinenti passati, presenti e ragionevolmente prevedibili, nonché di attività non pianificate ma prevedibili rese possibili dal progetto e che possono verificarsi in seguito o in un luogo diverso. Gli impatti cumulativi possono derivare da attività individualmente minori ma collettivamente significative che si verificano nel tempo. La valutazione ambientale e sociale prenderà in considerazione gli impatti cumulativi riconosciuti come importanti sulla base di evidenze scientifiche e/o che riflettano le preoccupazioni delle parti interessate dal progetto.*"

Un punto di forza di tale definizione è il riconoscimento della dimensione spazio-temporale e del principio secondo cui attività minori possano, nel complesso, produrre effetti rilevanti. Tuttavia, manca un esplicito riferimento alla natura sinergica e non lineare delle interazioni, elemento essenziale per cogliere la complessità dei sistemi ambientali.

Particolarmente significativo è il richiamo alla componente sociale e alla partecipazione degli *stakeholder* nel processo di valutazione, che deve basarsi sia su evidenze scientifiche sia sulle preoccupazioni delle comunità coinvolte. Questo orientamento verso una valutazione partecipata e integrata rappresenta uno degli aspetti più avanzati della definizione proposta dalla *World Bank*.

2.2.8 DEFINIZIONI DI IMPATTI CUMULATIVI IN ITALIA

In Italia il tema degli impatti cumulativi è affrontato in modo ancora frammentario: non esiste una definizione formale e condivisa, ma vari riferimenti normativi ne riconoscono l'importanza nell'ambito della Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) e della Valutazione Ambientale Strategica (VAS). Di seguito vengono analizzate le principali fonti normative italiane che costituiscono i pilastri di riferimento per la disciplina della valutazione ambientale e che includono, a vario titolo, richiami agli impatti cumulativi.

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 – "Norme in materia ambientale"[4]

Il *Testo Unico Ambientale* rappresenta il principale riferimento normativo nazionale. Pur non fornendo una definizione autonoma di impatti cumulativi, ne riconosce la rilevanza in più punti. L'Articolo 5, lettera c, definisce l'impatto ambientale come:

"*L'alterazione qualitativa e/o quantitativa, diretta ed indiretta, a breve e a lungo termine, permanente e temporanea, singola e cumulativa, positiva e negativa dell'ambiente, inteso come sistema di relazioni fra i fattori antropici, naturalistici, chimico-fisici, climatici, paesaggistici, architettonici, culturali, agricoli ed economici, in conseguenza dell'attuazione sul territorio di piani o programmi o di progetti nelle diverse fasi della loro realizzazione, gestione e dismissione, nonché di eventuali malfunzionamenti*."

Il decreto menziona esplicitamente gli impatti cumulativi ma non ne chiarisce il significato né fornisce criteri di analisi. Gli Allegati I, VI e VII ribadiscono l'obbligo di valutarli nei processi VIA e VAS, accanto a quelli diretti, indiretti e sinergici, senza tuttavia definire metodologie, scale di riferimento o criteri operativi. Ne deriva che la valutazione degli impatti cumulativi è formalmente richiesta ma concettualmente indefinita e affidata all'interpretazione dei proponenti e degli enti competenti.

D.M. 30 marzo 2015, n. 52 – Linee guida per la verifica di assoggettabilità a VIA[5]

Il decreto utilizza il "*cumulo con altri progetti*" come criterio tecnico per stabilire l'obbligo di VIA, al fine di evitare il "*salami slicing*" (la frammentazione artificiosa di un progetto unitario).

"*Un singolo progetto deve essere considerato anche in riferimento ad altri progetti localizzati nel medesimo contesto ambientale e territoriale. Tale criterio consente di evitare la frammentazione artificiosa di un progetto, di fatto riconducibile ad un progetto unitario, eludendo l'assoggettamento obbligatorio a procedura di verifica attraverso una riduzione 'ad hoc' della soglia stabilita nell'Allegato IV alla Parte Seconda del Decreto Legislativo n. 152/2006*".

Inoltre, il decreto specifica che tale criterio va applicato a progetti:

- della stessa categoria;

[4] Dlgs_152_06_TestoUnicoAmbientale.pdf
[5] Dm Ambiente 30 marzo 2015, n. 52 > ReteAmbiente

- localizzati nello stesso ambito territoriale (generalmente entro 1 km);
- la cui somma dimensionale superi le soglie previste.

Applicare la valutazione degli impatti cumulativi solo a interventi dello stesso tipo, escludendo interazioni tra attività differenti ma potenzialmente sinergiche, è una grande limitazione alla CEA. Inoltre, la definizione di un ambito territoriale fisso di un chilometro appare semplificata, poiché non tiene conto della diversa scala di propagazione degli impatti ambientali. Infine, il criterio basato sul superamento delle soglie dimensionali privilegia parametri fisici rispetto alla reale entità e qualità degli effetti. Nel complesso, il decreto riconosce il cumulo tra progetti ma lo tratta in una chiave procedurale eccessivamente semplificativa, trascurando la dimensione ecologica e sistemica degli impatti cumulativi.

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) – Linee guida n. 28/2020: *"Criteri per la verifica di assoggettabilità a VIA dei progetti di competenza delle Regioni e Province Autonome"*[6]

Nel documento, il concetto di impatti cumulativi è richiamato più volte, ma risulta privo di una definizione esplicita e autonoma. L'unico riferimento operativo si trova nel passaggio in cui si afferma che gli impatti "*devono essere descritti mediante adeguati strumenti di rappresentazione, quali matrici, grafici e cartografie*", specificando inoltre che "*il cumulo con gli effetti derivanti da altri progetti esistenti e/o approvati deve essere valutato tenendo conto di eventuali criticità ambientali esistenti*".

Questa formulazione, tuttavia, non chiarisce cosa si intenda esattamente per impatto cumulativo, ma solo che esso deve essere considerato e rappresentato nel processo di valutazione. In altre parole, il documento prescrive *che cosa fare* (valutare e rappresentare il cumulo) ma non *come definire* il fenomeno in termini concettuali e metodologici.

Norme tecniche per la redazione degli Studi di Impatto Ambientale (SNPA, 2021)[7]

Nel documento *"Norme tecniche per la redazione degli Studi di Impatto Ambientale"* (SNPA, 2021), pur mancando una definizione formale di impatti cumulativi, vengono fornite alcune indicazioni operative rilevanti. Si specifica che la valutazione dovrebbe considerare gli interventi già realizzati e quelli autorizzati, escludendo quelli ancora in corso di valutazione; una scelta che, sebbene utile a delimitare l'ambito d'indagine, rischia di ridurre la completezza dell'analisi. Il documento introduce inoltre un importante chiarimento metodologico, superando il D.M. 52/2015: il cumulo deve essere valutato non solo tra progetti della stessa categoria, ma anche tra interventi diversi che incidono sullo stesso tipo di impatto, come emissioni atmosferiche, rumore o consumo di suolo. Infine, viene sottolineata la necessità di una gestione trasparente delle incertezze e della carenza di dati, invitando il proponente

[6] https://www.snpambiente.it/wp-content/uploads/2020/05/Linee_Guida_SNPA_LLGGVIA_28_2020.pdf

[7] faq-webinar-1-del-3-marzo-2021.pdf

a documentare le difficoltà incontrate nella raccolta delle informazioni. Tale impostazione, improntata a rigore e tracciabilità, rappresenta un passo avanti verso una valutazione più completa e scientificamente fondata degli impatti cumulativi.

2.2.9 ALTRE DEFINIZIONI DALLA LETTERATURA

In letteratura, il quadro delle definizioni degli impatti cumulativi risulta ampio e articolato, includendo riferimenti a enti internazionali integrati dal contributo della letteratura scientifica e professionale. *Blakley & Russell (2019)* definiscono gli effetti cumulativi come "*una modificazione dell'ambiente causata da molteplici interazioni tra attività umane e processi naturali che si accumulano nello spazio e nel tempo*", evidenziando la necessità di approcci transdisciplinari per affrontarne la complessità. *Smith (2025)*[8] propone un affinamento operativo, distinguendo tra azioni *planned*, *likely* e *anticipated*, escludendo quelle speculative o ipotetiche, fornendo così un utile filtro per delimitare il perimetro della CEA. La *Practitioners Guide di Hegmann et al. (1999)*[9] interpreta gli effetti cumulativi come cambiamenti ambientali derivanti da un'azione combinata con altre attività passate, presenti e future, introducendo una distinzione tra analisi di progetto e pianificazione regionale, con attenzione anche agli effetti transfrontalieri e globali. *Noble (2010)* sintetizza la pluralità di definizioni esistenti, individuando elementi comuni: la dimensione spazio-temporale, l'interazione tra pressioni multiple e la possibilità di effetti additivi o sinergici.

Nel complesso, la letteratura converge su tre principi fondamentali: gli impatti cumulativi derivano da interazioni tra più azioni e processi naturali; si manifestano attraverso un accumulo spaziale e temporale; richiedono criteri espliciti per includere le azioni future e, quando necessario, per considerare anche le dinamiche transfrontaliere o globali.

2.3 QUADRO NORMATIVO INTERNAZIONALE ED EUROPEO

Negli ultimi decenni la valutazione degli impatti cumulativi ha conosciuto notevoli progressi metodologici e operativi, con lo sviluppo di modelli e strumenti analitici sempre più sofisticati. Tuttavia, gran parte di questi avanzamenti non è diffusa attraverso la letteratura scientifica accademica, ma rimane confinata nella "letteratura grigia" — rapporti tecnici, linee guida e documenti istituzionali non sottoposti a *peer review*. Ciò rende difficile ottenere una visione organica e aggiornata dello stato dell'arte della disciplina, che risulta frammentata tra fonti eterogenee.

Questo paragrafo mira quindi a ricostruire e sintetizzare il quadro normativo e metodologico di riferimento della CEA, confrontando le principali fonti ufficiali — normative, linee guida e contributi tecnico-scientifici — emanate da organismi di rilievo internazionale.

L'analisi si concentra in particolare sul contesto europeo, in coerenza con la collocazione geografica della ricerca e del caso di studio, tralasciando un approfondimento dettagliato dei quadri normativi

[8] Smith, A. (2025). Challenges in conducting CEA studies. Presentazione al Cumulative Effects Workshop (IAIA25), Bologna.

[9] publications.gc.ca/collections/Collection/En106-44-1999E.pdf

extraeuropei. Tale delimitazione consente di focalizzare l'attenzione sugli strumenti più pertinenti al sistema della valutazione di impatto ambientale dell'Unione Europea, evitando dispersioni e garantendo una trattazione coerente con gli obiettivi dello studio.

2.3.1 WORLD BANK – ENVIRONMENTAL AND SOCIAL FRAMEWORK (2016)

Il *World Bank Environmental and Social Framework* (ESF)[10], pubblicato nel 2016, è il principale strumento con cui la Banca Mondiale disciplina la gestione dei rischi ambientali e sociali nei progetti finanziati. Esso definisce principi, standard e procedure che i beneficiari dei fondi devono seguire per garantire la sostenibilità ambientale, l'equità sociale e il rispetto dei diritti umani.

In particolare, l'ESS1 (*Assessment and Management of Environmental and Social Risks and Impacts*) rappresenta il pilastro del quadro normativo, imponendo che la valutazione ambientale e sociale consideri non solo gli impatti diretti e indiretti, ma anche quelli cumulativi, ossia gli effetti combinati del progetto con altre attività esistenti o previste nello stesso contesto territoriale. Tuttavia, il documento non fornisce metodologie operative dettagliate per la valutazione degli impatti cumulativi, limitandosi a richiederne la considerazione integrata. Di conseguenza, l'efficacia dell'applicazione del principio dipende in larga misura dalla capacità tecnica e istituzionale dei beneficiari, con risultati variabili tra i diversi contesti di attuazione.

2.3.2 INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION (IFC) – GOOD PRACTICE HANDBOOK

La International Finance Corporation (IFC) ha pubblicato nel 2013 il *Good Practice Handbook: Cumulative Impact Assessment and Management – Guidance for the Private Sector in Emerging Markets*[11], con l'obiettivo di fornire linee guida operative per la valutazione e gestione degli impatti cumulativi. Il manuale integra il Performance Standard 1 (PS1) dell'IFC[12], dedicato alla gestione dei rischi e impatti ambientali e sociali, e costituisce uno dei riferimenti internazionali più autorevoli sulla valutazione degli impatti cumulativi. Il documento illustra in modo chiaro ciò che dovrebbe essere fatto per valutare gli impatti cumulativi; tuttavia, non fornisce strumenti operativi concreti che indichino come procedere nella pratica. Pur trattandosi di un contributo indubbiamente rilevante, che affronta in maniera approfondita la tematica, il suo livello di applicabilità operativa risulta limitato.

2.3.3 ASIAN DEVELOPMENT BANK (ADB) – *SAFEGUARD POLICY STATEMENT* (2009)

La *Asian Development Bank* (ADB), attraverso la propria *Safeguard Policy Statement*[13] pubblicata nel 2009, definisce il quadro normativo e procedurale per la gestione degli impatti ambientali e sociali dei progetti finanziati dall'istituzione. Tale documento stabilisce che per ogni progetto proposto debba

[10] documents1.worldbank.org/curated/en/383011492423734099/pdf/114278-WP-REVISED-PUBLIC-Environmental-and-Social-Framework.pdf
[11] www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/mgrt/ifc-goodpracticehandbook-cumulativeimpactassessment.pdf
[12] www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2010/2012-ifc-performance-standard-1-en.pdf
[13] www.adb.org/sites/default/files/institutional-document/32056/safeguard-policy-statement-june2009.pdf

essere condotta una valutazione ambientale in grado di identificare e analizzare gli impatti diretti, indiretti, *cumulativi* e indotti.

Un aspetto di particolare rilievo è l'attenzione posta al contesto spaziale e relazionale degli impatti, definito come *area of influence* del progetto. Essa include non solo i siti direttamente interessati, ma anche le aree e le comunità potenzialmente esposte a impatti cumulativi derivanti da altri sviluppi pianificati, progetti esistenti o fonti di pressione ambientale simili. Dal punto di vista della valutazione degli impatti cumulativi, la posizione dell'ADB risulta significativa per due motivi principali. In primo luogo, essa riconosce esplicitamente il carattere multidimensionale e interconnesso degli effetti ambientali, andando oltre la logica della singola opera per considerare il contesto territoriale complessivo. In secondo luogo, l'inclusione degli impatti cumulativi all'interno di una policy vincolante per i progetti finanziati da una banca multilaterale di sviluppo rappresenta un importante passo verso l'istituzionalizzazione della CEA come componente integrale dei processi decisionali.

Tuttavia, pur riconoscendo la necessità di tale approccio, il documento non fornisce indicazioni metodologiche operative su come identificare, delimitare o quantificare gli impatti cumulativi. La formulazione rimane dunque di carattere generale, lasciando ampi margini interpretativi ai singoli progetti e ai consulenti coinvolti.

2.3.4 COUNCIL DIRECTIVE 92/43/EEC (1992) ON THE CONSERVATION OF NATURAL HABITATS AND OF WILD FAUNA AND FLORA (HABITATS DIRECTIVE)

La Direttiva 92/43/CEE[14] del Consiglio, nota come Direttiva Habitat, costituisce uno dei pilastri della politica ambientale europea, istituendo la rete Natura 2000 per la tutela di oltre 1.000 specie e circa 200 habitat di interesse comunitario. Elemento centrale della Direttiva è l'articolo 6, paragrafo 3, che stabilisce l'obbligo di sottoporre a Valutazione di Incidenza Ambientale (VIncA) qualsiasi piano o progetto che possa avere effetti significativi, singolarmente *o congiuntamente* ad altri, su un sito della rete Natura 2000. Tale formulazione introduce implicitamente il principio di considerazione degli impatti cumulativi, imponendo un approccio integrato che tenga conto delle interazioni tra più interventi. Tuttavia, la norma non fornisce metodologie operative per identificare o quantificare tali effetti, lasciando agli Stati membri ampio margine di interpretazione e applicazione.

2.3.5 DIRECTIVE 2001/42/EC (2001) ON THE ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF CERTAIN PLANS AND PROGRAMMES ON THE ENVIRONMENT (SEA DIRECTIVE)

La Direttiva 2001/42/CE[15] del Parlamento europeo e del Consiglio, nota come *SEA Directive - Strategic Environmental Assessment Directive* - è il principale riferimento normativo dell'UE per la valutazione ambientale strategica di piani e programmi pubblici che possano generare effetti significativi sull'ambiente. L'Allegato I definisce i contenuti minimi del rapporto ambientale, includendo la descrizione degli effetti significativi, compresi quelli cumulativi, sinergici e secondari, sulle componenti

[14] eur-lex.europa.eu/eli/dir/1992/43/oj/eng
[15] eur-lex.europa.eu/eli/dir/2001/42/oj/eng

ambientali. L'Allegato II stabilisce i criteri per determinarne la significatività, tra cui la natura cumulativa degli effetti, la magnitudine, l'estensione spaziale e la vulnerabilità dell'area interessata.

La Direttiva riconosce quindi in modo esplicito la necessità di valutare gli impatti cumulativi e sinergici come parte integrante della VAS, promuovendo un approccio sistemico e intersettoriale. Tuttavia, pur offrendo un quadro concettuale chiaro, essa non fornisce metodologie operative vincolanti, lasciando agli Stati membri ampi margini di interpretazione nell'applicazione pratica.

2.3.6 DIRECTIVE 2011/92/EU (2011) ON THE ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF CERTAIN PUBLIC AND PRIVATE PROJECTS ON THE ENVIRONMENT

La Direttiva 2011/92/UE[16], che codifica la disciplina europea sulla valutazione di impatto ambientale, stabilisce i contenuti informativi del rapporto ambientale per i progetti pubblici e privati. Ai fini degli impatti cumulativi, è decisivo l'Allegato IV, che richiede "una descrizione dei probabili effetti rilevanti del progetto proposto sull'ambiente". Tale descrizione deve riguardare gli effetti diretti ed eventualmente gli effetti indiretti, secondari, *cumulativi*, nonché quelli a breve, medio e lungo termine, permanenti e temporanei, positivi e negativi. In questo modo la Direttiva include esplicitamente la considerazione degli effetti cumulativi all'interno della documentazione di VIA, tralasciando però gli aspetti metodologici applicativi.

2.3.7 DIRECTIVE 2014/52/EU (2014) ON THE ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF CERTAIN PUBLIC AND PRIVATE PROJECTS ON THE ENVIRONMENT

La Direttiva 2014/52/UE, che modifica la Direttiva 2011/92/UE sulla valutazione degli effetti di determinati progetti pubblici e privati sull'ambiente, aggiorna il quadro normativo europeo in materia di valutazione di impatto ambientale. La Direttiva introduce come temi centrali dell'analisi l'efficienza delle risorse, la protezione della biodiversità, il cambiamento climatico, e la gestione dei rischi ambientali. È richiesto di valutare sia gli impatti dei progetti sul clima, sia la loro vulnerabilità agli effetti climatici. Inoltre, gli impatti significativi sulla biodiversità devono essere evitati o ridotti, contribuendo all'obiettivo europeo di arrestare la perdita di biodiversità e ripristinare i servizi ecosistemici.

Gli Allegati III e IV impongono infatti di valutare gli effetti cumulativi, tenendo conto della natura e reversibilità degli impatti e dei rischi per la salute e l'ambiente. Tuttavia, ancora una volta, mancano linee guida pratiche e applicabili per lo sviluppo della CEA.

2.3.8 EUROPEAN COMMISSION, DIRECTORATE-GENERAL XI (ENVIRONMENT, NUCLEAR SAFETY AND CIVIL PROTECTION) - 1999

Le Linee guida per la valutazione degli impatti indiretti e cumulativi e delle interazioni tra impatti (*Commissione Europea, DG XI – Hyder Consulting, 1999*[17]) rappresentano uno dei primi tentativi

[16] eur-lex.europa.eu/eli/dir/2011/92/oj/eng
[17] tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/European-Commission-1999.pdf

organici a livello europeo di fornire un quadro metodologico per la valutazione degli impatti cumulativi nell'ambito della VIA. Elaborate nel contesto della Direttiva 85/337/CEE e del suo emendamento 97/11/CE, esse traducono in strumenti operativi il principio — già previsto dalla normativa — di considerare non solo gli impatti diretti, ma anche quelli indiretti, secondari, cumulativi e sinergici.

Le linee guida propongono un approccio integrato e sistemico, volto a superare la frammentazione delle analisi ambientali e a fornire una rappresentazione più realistica delle conseguenze complessive dei progetti. Sul piano operativo, il documento suggerisce l'uso di matrici di interazione, diagrammi di flusso e modelli concettuali per analizzare le relazioni causa-effetto e le interazioni tra componenti ambientali. Particolare rilievo è attribuito alla definizione dell'area di influenza e alla scala temporale degli effetti, per valutare non solo la somma, ma anche le sinergie e retroazioni tra impatti derivanti da progetti coesistenti o da pressioni multiple. Pur non avendo valore vincolante, queste linee guida hanno avuto un ruolo pionieristico nel diffondere una visione sistemica della valutazione ambientale all'interno dell'Unione Europea. A differenza di altri documenti e normative presenti nel panorama europeo, questo testo si distingue per un approccio maggiormente applicativo e concreto, ponendo un'attenzione particolare agli strumenti utilizzabili per la redazione di una CEA.

2.3.9 U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) – CUMULATIVE IMPACTS RESEARCH: RECOMMENDATIONS FOR EPA'S OFFICE OF RESEARCH AND DEVELOPMENT (2022)

Il documento *Cumulative Impacts Research: Recommendations for EPA's Office of Research and Development*[18], pubblicato nel 2022 dalla U.S. Environmental Protection Agency (EPA), costituisce un riferimento centrale per il quadro normativo e scientifico statunitense sulla valutazione degli impatti cumulativi. Esso nasce in seguito agli Ordini Esecutivi del 2021, con cui l'amministrazione Biden ha promosso l'equità ambientale e l'azione climatica, indirizzando l'EPA verso un uso sistematico della CEA a tutela delle comunità vulnerabili. In questo contesto, *l'Office of Research and Development* ha avviato un lavoro di consolidamento metodologico: il rapporto del 2022 definisce i concetti chiave, individua lacune e ostacoli applicativi e formula raccomandazioni per integrare l'analisi cumulativa nei futuri Piani Strategici di Ricerca 2023–2026. Nel complesso, il documento rappresenta un passo significativo verso l'istituzionalizzazione della CEA negli Stati Uniti, ponendo le basi per un approccio più sistematico, equo e scientificamente fondato alla gestione dei rischi ambientali e sociali. Tuttavia, più che configurarsi come uno strumento operativo, esso si limita a delineare lo stato attuale della disciplina, ossia il punto a cui si è giunti nello sviluppo della CEA.

2.4 SFIDE E CRITICITÀ NELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI CUMULATIVI

La mancanza, a livello internazionale, di un quadro chiaro e condiviso su come procedere nella redazione della CEA è legata non solo al fatto che l'attenzione verso questo tema è cresciuta in tempi

[18] https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-09/Cumulative%20Impacts%20Research%20Final-Report_FINAL-EPA%20600-R-22-014a.pdf

relativamente recenti, ma anche alla presenza di difficoltà strutturali che ne condizionano l'applicazione.

Le criticità principali riguardano la gestione dei dati. In primo luogo, le informazioni disponibili risultano spesso frammentate ed eterogenee, e mancano banche dati complete che raccolgano in modo sistematico gli elementi necessari all'analisi. L'individuazione dei progetti potenzialmente generatori di effetti cumulativi costituisce una delle fasi più problematiche, poiché raramente esistono portali che forniscano elenchi aggiornati e facilmente interrogabili dei progetti esistenti o pianificati. In italia, ad esempio, il portale del MASE (Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica) rende disponibili i progetti sottoposti a VIA sul territorio nazionale, ma presenta importanti limitazioni funzionali, quali l'assenza di criteri di ricerca spaziali che faciliterebbero l'identificazione delle iniziative rilevanti.

In secondo luogo, anche quando i dati sono reperibili, essi presentano frequentemente elevati livelli di incertezza. Tale incertezza è in parte intrinseca, poiché la valutazione degli impatti cumulativi considera non soltanto progetti esistenti, ma anche interventi futuri per i quali non sono disponibili misurazioni empiriche, bensì stime modellistiche, inevitabilmente soggette a margini di variabilità.

Nonostante tali difficoltà, l'analisi non può essere omessa. Il *Council On Environmental Quality* (CEQ, 1997) raccomanda infatti di non escludere mai la valutazione degli impatti cumulativi per carenza di dati, ma di presentare giudizi trasparenti e motivati, riconoscendo esplicitamente le incertezze, utilizzando modelli e metodi scientificamente accettati e documentando con rigore assunzioni e fonti. In quest'ottica, una valutazione approssimata ma metodologicamente fondata risulta preferibile al mancato riconoscimento degli effetti cumulativi.

3. PROPOSTA METODOLOGICA PER LA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI CUMULATIVI

Il presente capitolo ha l'obiettivo di delineare una proposta metodologica per la valutazione degli impatti cumulativi, affrontando in modo sistematico le principali sfide operative e concettuali, e proponendo strategie di risoluzione coerenti con le buone pratiche internazionali.

Ai fini della presente proposta, si assume che la valutazione degli impatti cumulativi venga redatta *successivamente* alla valutazione di impatto ambientale. Tale impostazione riflette la prassi più comune, secondo cui la CEA costituisce un allegato integrativo della VIA, volto ad approfondire gli effetti combinati e sinergici non completamente trattati nella valutazione principale.

Di seguito viene presentata una sintesi introduttiva della metodologia proposta, che sarà successivamente sviluppata e discussa in maniera approfondita nei paragrafi dedicati.

Tabella 1 Sintesi metodologica

Step metodologico	Descrizione
Step 1 – Identificazione delle Componenti Ambientali di Valore (VEC)	L'identificazione delle VEC costituisce la base concettuale dell'intero processo valutativo poiché orienta tutte le fasi successive. Il cuore di questa fase è la partecipazione del pubblico.
Step 2 – Recupero delle informazioni relative allo scenario di riferimento (*baseline*)	La valutazione deve considerare lo stato iniziale della componente ambientale: anche impatti lievi possono diventare significativi se incidono su elementi già vulnerabili.
Step 3 – Definizione dello screening buffer per ciascuna VEC	Per ogni VEC individuata si stabiliscono i confini spaziali e temporali dell'analisi. Tali buffer costituiscono la base di riferimento per la selezione dei progetti rilevanti.
Step 4 – Ricognizione preliminare dei progetti potenzialmente rilevanti	Si effettua una ricerca sistematica di tutti i progetti presenti o pianificati nell'area di studio. L'obiettivo è costruire una *long list* ampia: in questa fase la completezza prevale sulla selettività.
Step 5 - Filtro sullo stato di avanzamento dei progetti	Vengono rimossi dalla *long list* i progetti non più attivi o non realizzabili, perché respinti o con tempistiche di attuazione scadute o non rispettate.
Step 6 – Filtro spazio-temporale	Si esegue un'analisi spaziale per ciascuna VEC, individuando — in base al buffer definito — i progetti che esercitano un impatto su di essa. Parallelamente, un'analisi temporale valuta la sovrapposizione delle fasi progettuali, rappresentata in una *timeline* che distingue le combinazioni di fase (es. cantiere–cantiere, cantiere–esercizio, esercizio–esercizio).

Step metodologico	Descrizione
Step 7 – Valutazione degli impatti cumulativi	Per ciascuna componente ambientale vengono individuati indicatori specifici degli impatti, distinti tra le diverse fasi progettuali. Gli indicatori sono poi aggregati ed elaborati matematicamente per ottenere un indice finale normalizzato nell'intervallo [0;1], che rappresenta l'intensità complessiva degli impatti cumulativi.

3.1 IDENTIFICAZIONE DELLE COMPONENTI AMBIENTALI DI VALORE (VEC)

Le componenti ambientali di valore (VEC) rappresentano quegli elementi dell'ambiente naturale e sociale che rivestono un'importanza particolare dal punto di vista ecologico, culturale, economico o sociale e che possono essere influenzati dagli impatti di un progetto. Le VEC possono appartenere a due principali macrocategorie: ambientale e sociale. La tabella seguente riporta alcuni esempi rappresentativi.

Tabella 2 VEC - Esempi

Categoria	Esempi
Componenti ambientali, ecologiche, ecosistemiche e paesaggistiche	• Atmosfera; • Acque superficiali, sotterranee, zone umide, costiere e lagunari; • Suolo e sottosuolo; • Vegetazione, corridoi ecologici, habitat naturali, fauna terrestre, acquatica e biodiversità complessiva. • Paesaggio rurale e naturale.
Componenti sociali, culturali, percettive ed economiche	• Salute pubblica, qualità della vita, equità e coesione sociale; • Patrimonio storico, artistico, archeologico e culturale; • Produttività delle risorse naturali, attività economiche e risvolti occupazionali.

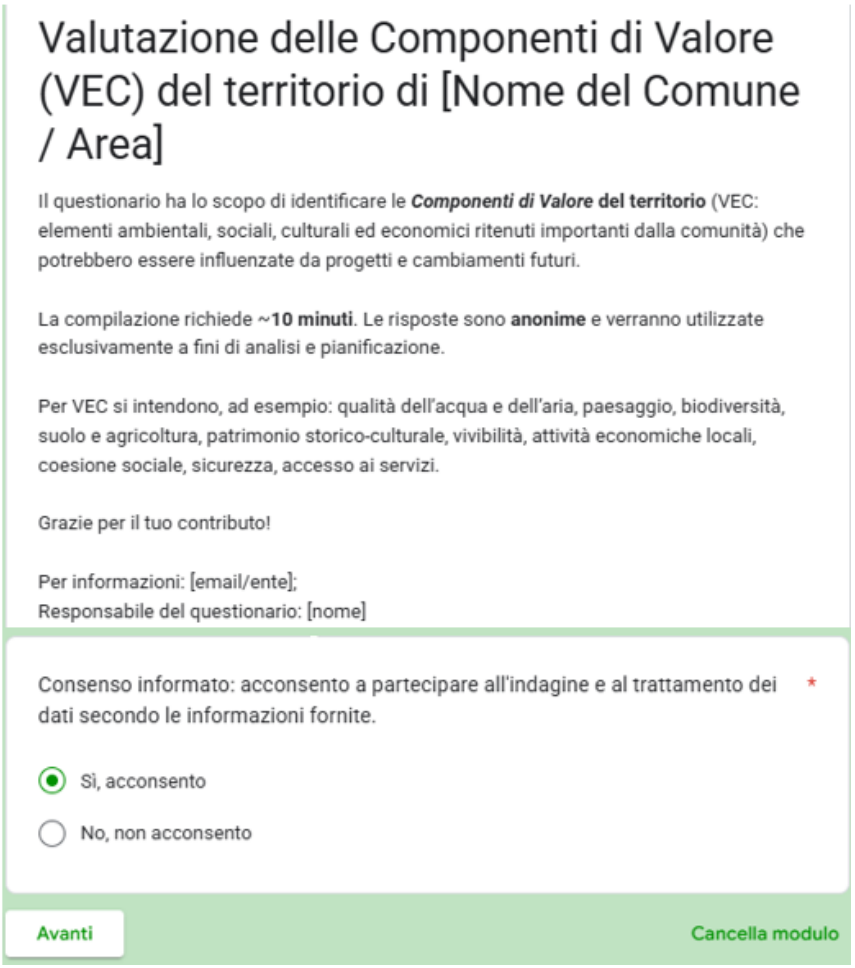
Fonte: autore

Come già menzionato, la CEA deve essere VEC-centrica: è quindi fondamentale, fin dalle prime fasi, avere ben chiaro quali siano le componenti di valore su cui si concentrerà l'analisi. Per questo motivo, l'identificazione delle VEC di sistema rappresenta il primo step chiave della metodologia proposta. La selezione delle VEC dovrebbe avvenire attraverso un processo partecipato; a tal proposito, la metodologia prevede l'utilizzo di questionari, interviste e panel di esperti, favorendo così una definizione condivisa e rappresentativa delle componenti ambientali di valore.

3.1.1 QUESTIONARI

Considerato che l'obiettivo della presente metodologia è quello di essere quanto più applicativa possibile, si propone di seguito un questionario[19] di esempio, elaborato nell'ambito di questa tesi, che può costituire una base per la formulazione di questionari ad hoc, specifici per ciascun progetto. Il questionario prevede un breve *abstract* introduttivo, nel quale vengono illustrate le finalità dell'indagine, le tempistiche previste per la compilazione e le modalità di gestione dei dati personali raccolti; a seguire, sono riportati i riferimenti di contatto del responsabile dell'indagine e la sezione dedicata al consenso informato (Figura 3).

Figura 1 Sezione 1: abstract e consenso informato

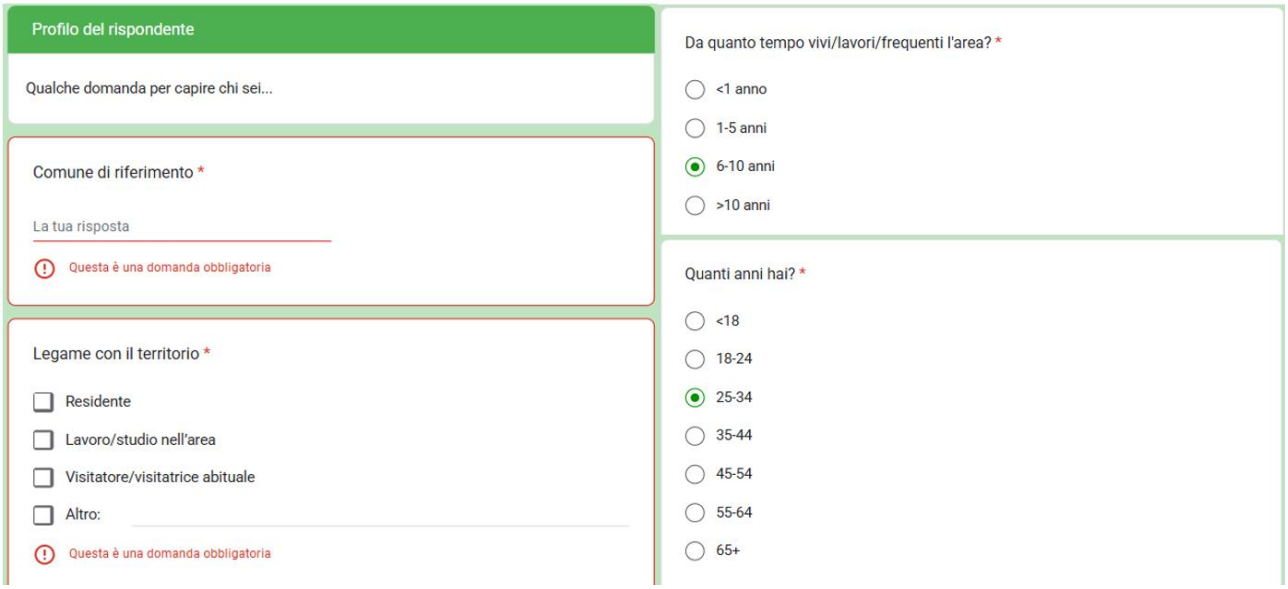


Fonte: autore

Successivamente, il questionario prevede una sezione introduttiva dedicata alla raccolta di alcune informazioni personali di base, finalizzata a delineare il profilo del rispondente (Figura 4).

[19] https://forms.gle/PqTfvXqULjoGPpfq5

Figura 2 Sezione 2: profilo del rispondente

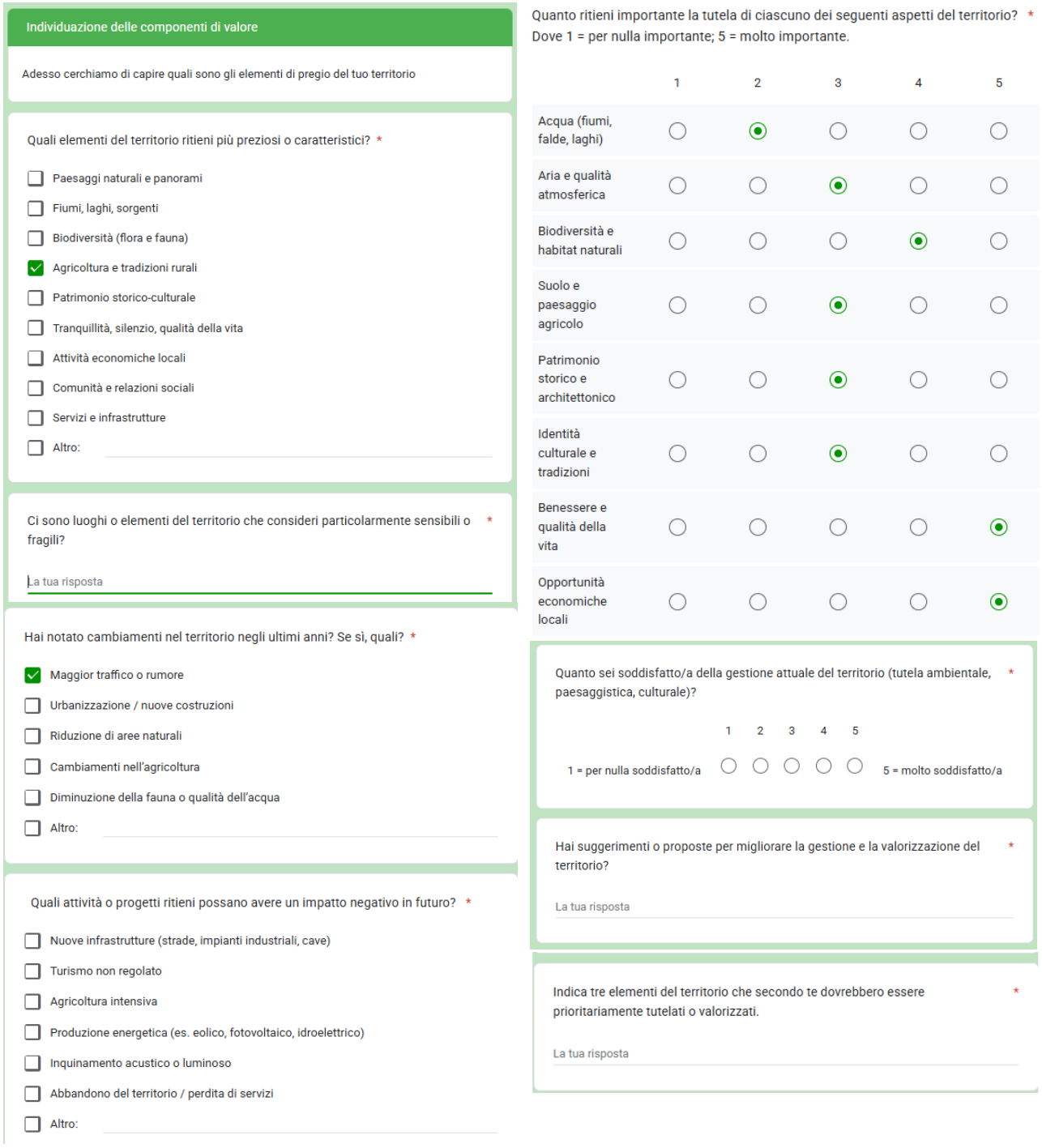


Fonte: autore

Si passa quindi alla sezione più rilevante del questionario (Figura 5), quella dedicata alle domande finalizzate all'identificazione delle VEC da considerare nell'analisi. Le domande sono state progettate per rispondere a tre elementi chiave necessari per la selezione delle Componenti Ambientali di Valore:

1. **Valori del territorio** – domande mirate a far emergere gli elementi ambientali, sociali o culturali percepiti come più importanti dalla popolazione, fornendo una base diretta per l'individuazione delle VEC;
2. **Cambiamenti e pressioni percepite** – volte a identificare le componenti già soggette a stress o minacce, al fine di individuare le aree o le risorse dove è più probabile che si manifestino effetti cumulativi;
3. **Priorità di tutela secondo la popolazione** – domande che mirano a comprendere la scala di valore e di urgenza attribuita dai cittadini alle diverse componenti, restituendo una gerarchia di priorità utile per orientare le successive fasi dell'analisi.

Figura 3 Sezione 3: Individuazione delle componenti di valore



Fonte: autore

Il questionario riportato rappresenta un esempio di riferimento, che può essere adattato e modificato in base alle esigenze specifiche del territorio e alla tipologia di progetto oggetto di analisi. I questionari costituiscono infatti strumenti flessibili, capaci di raccogliere anche informazioni soggettive e di far emergere conoscenze locali o tradizionali, spesso non reperibili attraverso fonti ufficiali.

Tuttavia, questo metodo presenta anche alcune criticità: gli esiti sono soggettivi e fortemente dipendenti dal campione di rispondenti. Per tale motivo, il questionario deve essere considerato come uno strumento di supporto all'analisi delle VEC, e non come la principale fonte di valutazione.

3.1.2 CONSULTAZIONE DEI PORTATORI DI INTERESSE

I questionari rappresentano un utile strumento per coinvolgere la popolazione locale, ma i portatori di interesse (*stakeholder*) comprendono un insieme molto più ampio di soggetti: associazioni di cittadini, enti locali, amministrazioni pubbliche, organizzazioni non governative, nonché privati direttamente interessati dal progetto (ad esempio residenti o titolari di attività nell'area di intervento).

Pertanto, il questionario non può e non deve costituire l'unico strumento di partecipazione. La presente metodologia suggerisce di affiancarlo all'organizzazione di *panels*, ovvero incontri partecipativi che riuniscono gruppi multidisciplinari di esperti insieme ai diversi portatori di interesse, con l'obiettivo di condividere conoscenze, raccogliere osservazioni qualificate e favorire un confronto strutturato sui potenziali impatti del progetto.

Per pianificare il confronto con i portatori di interesse è innanzitutto necessario condurre una mappatura preliminare degli *stakeholder* coinvolti, al fine di identificare chi deve essere invitato e quale ruolo ricopre nel processo decisionale. La tabella seguente mostra un esempio di schema operativo che può essere utilizzato come base per questa fase di analisi.

Tabella 3 Categorizzazione degli stakeholder

Categoria	Esempi	Interesse nel tema
Istituzionali	Comune, Unione di Comuni, Regione, ARPA	Gestione, pianificazione
Economici	Agricoltori, associazioni di categoria, imprese turistiche	Uso del territorio
Ambientali	Associazioni locali, gruppi ambientalisti, CAI	Tutela, biodiversità
Sociali / culturali	Scuole, Pro Loco, gruppi civici	Identità locale
Tecnici / esperti	Università, professionisti	Supporto scientifico

Fonte: autore

Dopo la predisposizione dell'invito, si organizza l'incontro definendone agenda e obiettivi. La presenza di un facilitatore neutrale è essenziale per moderare il dibattito e garantire una partecipazione equilibrata. Al termine, viene redatto un verbale sintetico contenente partecipanti, temi trattati e principali risultanze, da condividere con tutti i presenti. La consultazione — inclusa l'eventuale integrazione con interviste e incontri con esperti — consente di definire una visione condivisa delle VEC prioritarie da includere nell'analisi degli impatti cumulativi.

3.1.3 CHECKLIST

A questo punto, per garantire che tutte le componenti rilevanti siano state effettivamente considerate e che nessun elemento sia stato tralasciato, è utile ricorrere a una *checklist* di verifica. Le *checklist* sono elenchi sistematici di impatti comuni o potenziali, predisposti per facilitare un controllo completo e metodico delle componenti ambientali e sociali interessate.

La checklist proposta di seguito (Figura 6) è stata concepita per essere il più esaustiva possibile e può essere direttamente utilizzata come strumento operativo per la verifica di completezza nella fase di identificazione delle VEC.

Figura 4 Checklist proposta

☐ Qualità dell'aria (PM, NO_x, CO_2, GHG)

☐ Odori / emissioni odorose

☐ Qualità acque superficiali

☐ Qualità acque sotterranee

☐ Qualità ambienti marino-costieri

☐ Ecosistemi umidi / torbiere

☐ Habitat fluviali / lacustri

☐ Portate / deflussi ecologici (DMV)

☐ Fauna terrestre / volatili / anfibi / rettili

☐ Fauna ittica / macroinvertebrati

☐ Corridoi ecologici / connettività habitat

☐ Caratteri percettivi / visivi del paesaggio

☐ Patrimonio naturale / elementi simbolici

☐ Continuità paesaggistica e vincoli paesaggistici

☐ Coesione sociale

☐ Patrimonio culturale immateriale / identità locale

☐ Sicurezza / percezione del rischio

☐ Equità ambientale / giustizia territoriale

☐ Occupazione

☐ Reddito / PIL locale

☐ Attività produttive / filiere locali

☐ Risorsa idrica (prelievi / disponibilità)

☐ Rumore ambientale

☐ Vibrazioni

☐ Radiazioni non ionizzanti / elettromagnetiche

☐ Microclima locale / isole di calore

☐ Resilienza a cambiamenti climatici

☐ Vincoli paesaggistici

☐ Beni archeologici / patrimonio storico / siti monumentali identitari

☐ Risorsa forestale

☐ Energia / mix energetico

☐ Materiali / risorse minerarie

☐ Gestione rifiuti

☐ Rischio idraulico / alluvioni

☐ Valore immobiliare

☐ Servizi ecosistemici

☐ Infrastrutture / traffico / mobilità / trasporto pubblico

☐ Governance / pianificazione coerente

☐ Partecipazione pubblica / informazione / coordinamento

☐ Monitoraggio

☐ Regolazione climatica

☐ Uso del suolo / consumo

☐ Erosione / instabilità / frane

☐ Contaminazione suolo / sostanze pericolose

☐ Permeabilità del suolo / infiltrazione

☐ Capacità produttiva agricola

☐ Vegetazione naturale / habitat prioritari

☐ Rischio frana / sismico

☐ Rischi industriali / impianti tecnologici

☐ Vulnerabilità infrastrutturale

☐ Popolazione residente / dinamiche demografiche

☐ Salute pubblica / esposizione inquinanti

☐ Qualità della vita

☐ Accesso ai servizi essenziali

☐ Ritenzione idrica / prevenzione alluvioni

☐ Impollinazione

☐ Sequestro carbonio / stoccaggio biomassa

☐ Fruizione ricreativa / servizi ecosistemici

☐ Valore estetico / spirituale dei luoghi

Fonte: autore

Le checklist sono strumenti utili per evitare omissioni e garantire comparabilità tra progetti, ma devono essere integrate con altre metodologie poiché soggette a rigidità e a un certo grado di soggettività. La loro struttura infatti può impedire l'individuazione di impatti indiretti o sinergici e non consente di rappresentare esplicitamente le relazioni causa-effetto tra VEC. Una volta conclusa la consultazione, l'analista integra i risultati con l'analisi scientifica del territorio, definendo l'elenco finale delle VEC che verranno utilizzate per la CEA. Questa fase è cruciale: l'omissione di una componente può compromettere l'intera valutazione.

3.2 RECUPERO DELLE INFORMAZIONI DI BASELINE

Come anticipato, la metodologia proposta presuppone che la valutazione degli effetti cumulativi sia condotta a valle di una valutazione di impatto. Ciò implica che le informazioni di base relative allo scenario di riferimento — ossia lo stato attuale dell'ambiente e del contesto socioeconomico al momento della redazione dello studio di impatto — siano già state raccolte nell'ambito della VIA.

In questa fase della metodologia è quindi necessario recuperare e riorganizzare tali dati di *baseline*, che costituiranno il termine di confronto per la valutazione cumulativa. L'obiettivo è quello di stimare la condizione di partenza della VEC, in modo da interpretare correttamente il contributo incrementale del nuovo progetto rispetto alle pressioni già esistenti. Infatti, una VEC già compromessa o soggetta a intense pressioni antropiche può presentare una capacità di carico ambientale ridotta: in tali condizioni, anche un impatto marginale aggiuntivo potrebbe determinare il superamento di soglie di sostenibilità o l'innesco di effetti non lineari nel sistema.

3.3 DEFINIZIONE DELLO SCREENING BUFFER

Una volta individuate le VEC e definite le loro condizioni iniziali, il passo successivo consiste nella definizione dello *screening buffer*, ovvero dell'estensione spaziale e temporale entro la quale verranno analizzati gli impatti cumulativi.

Il *buffer* deve essere definito per ciascuna VEC individuata, in base alla scala e alla dinamica dei processi che la caratterizzano.

Sebbene la definizione di *buffer* differenziati possa apparire più complessa rispetto all'uso di un unico confine, questa scelta consente di evitare analisi eccessivamente generiche o sproporzionate, riducendo il rischio di includere aree non pertinenti. In tal modo, la valutazione risulta più mirata, efficiente e coerente con la reale scala di influenza degli impatti su ciascuna componente ambientale.

3.3.1 DEFINIZIONE DEI CONFINI SPAZIALI

La definizione dei confini spaziali per l'analisi degli impatti cumulativi deve attenersi ad alcuni principi metodologici fondamentali. In primo luogo, è necessario adottare un approccio di natura ecologica e

sociale, evitando criteri puramente geopolitici o amministrativi. Inoltre, l'estensione spaziale della CEA risulta generalmente più ampia rispetto a quella prevista nella VIA. Ciò deriva dal fatto che la VIA è un'analisi progetto-centrica, in cui i confini di studio sono definiti in base alla diffusione degli effetti diretti del singolo intervento. Al contrario, la CEA è VEC-centrica e considera gli impatti derivanti non solo dal progetto in esame, ma anche da altri progetti esistenti o futuri, le cui interazioni possono contribuire alla produzione di effetti cumulativi.

Da un punto di vista teorico, l'estensione spaziale dell'analisi degli impatti cumulativi potrebbe essere considerata potenzialmente illimitata, poiché ogni azione, anche localizzata, può generare effetti secondari che si propagano nel tempo e nello spazio. Risulta pertanto necessario definire un limite operativo, oltre il quale un ulteriore approfondimento non apporta un reale valore aggiunto, ma comporta soltanto un incremento sproporzionato di costi, tempi e complessità analitica.

La definizione di tali limiti richiede un approccio adattativo e incrementale. L'analista procede inizialmente con una stima ragionata del buffer spaziale, fondata sull'esperienza professionale e sulle conoscenze tecniche disponibili. Tale stima costituisce un punto di partenza che potrà essere rivisto e modificato alla luce di nuove informazioni che ne motivino l'ampliamento o la contrazione.

Questo procedimento deve essere applicato a ciascuna VEC individuata; ne consegue che il buffer spaziale non è un parametro univoco, ma varia in funzione della specifica VEC considerata, generando un sistema di confini flessibili e dinamici, calibrati sulle esigenze analitiche della valutazione.

3.3.1.1 SUPPORTO GIS

Uno degli strumenti più efficaci per definire i confini spaziali delle VEC e i relativi buffer di influenza è rappresentato dai Sistemi Informativi Geografici (GIS). Grazie alle loro funzionalità analitiche e di visualizzazione, i GIS consentono di tradurre valutazioni concettuali in rappresentazioni spaziali oggettive, evidenziando le relazioni tra sorgenti di pressione e componenti ambientali potenzialmente interessate.

In particolare, l'analisi GIS permette di delineare e visualizzare i buffer spaziali mediante la rappresentazione integrata della localizzazione dei progetti, delle pressioni generate e dei recettori ambientali e sociali. Tale visualizzazione facilita la comprensione della configurazione territoriale e fornisce un supporto decisionale efficace per la definizione dell'estensione più appropriata dei buffer associati a ciascuna VEC.

3.3.2 CONFINI TEMPORALI

La definizione dei confini temporali stabilisce "*quanto indietro nel tempo*" e "*quanto avanti nel futuro*" debba spingersi la valutazione. In linea teorica, tali confini dovrebbero comprendere l'intero arco temporale in cui una VEC può essere soggetta a impatti rilevanti: dal momento in cui le pressioni antropiche iniziano a generare effetti significativi, fino a quando tali effetti diventano trascurabili oppure la VEC recupera una condizione di equilibrio ecologico e funzionale considerata accettabile.

Nella pratica, tuttavia, non è possibile estendere l'analisi a un periodo indefinito. All'aumentare della distanza temporale — sia verso il passato sia verso il futuro — i dati tendono a ridursi o a divenire qualitativi, e l'incertezza cresce in modo sostanziale. Per questo motivo, i confini temporali devono essere realistici, basati sulla disponibilità di informazioni e coerenti con la scala ecologica e funzionale delle VEC. L'orizzonte minimo da considerare coincide con l'intero ciclo di vita del progetto oggetto di valutazione, includendo le fasi di costruzione, esercizio e dismissione. Tale orizzonte può essere esteso, quando necessario, sia al passato sia al futuro.

Analogamente ai confini spaziali, anche quelli temporali devono essere definiti con un approccio VEC-specifico, stabilendo per ciascuna VEC uno specifico intervallo di analisi.

3.4 RICOGNIZIONE PRELIMINARE DEI PROGETTI RILEVANTI

Una volta individuate le componenti ambientali di valore e definiti i relativi limiti spaziali e temporali di analisi, si avvia la fase operativa principale della valutazione degli impatti cumulativi: la ricognizione dei progetti potenzialmente in grado di contribuire al cumulo degli effetti. Si tratta di una delle fasi più dispendiose in termini di tempo e risorse, poiché a livello internazionale non esistono ancora strumenti standardizzati o portali unici in grado di fornire, per una determinata area geografica, un quadro completo dei progetti esistenti, pianificati o in corso di autorizzazione. L'analista deve pertanto affidarsi a un insieme eterogeneo di fonti, tra cui portali istituzionali, siti ministeriali, registri ambientali nazionali e regionali e banche dati tematiche.

In Italia, ad esempio, il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) mette a disposizione un portale ufficiale che raccoglie l'elenco delle procedure di VAS (Valutazione Ambientale Strategica), VIA (Valutazione di Impatto Ambientale) e AIA (Autorizzazione Integrata Ambientale) sul territorio nazionale. Tuttavia, tali elenchi, seppur preziosi, risultano molto estesi e comprendono per ciascun progetto una grande quantità di documenti e allegati. Inoltre, il portale riguarda principalmente i progetti pianificati o in istruttoria, mentre quelli già esistenti non sono censiti in modo sistematico e devono quindi essere individuati attraverso analisi visive e verifiche territoriali.

Questa frammentazione informativa non è peculiare del contesto italiano: in molti altri Paesi europei ed extraeuropei le informazioni relative ai progetti sottoposti a procedura ambientale sono distribuite tra portali regionali, ministeriali o tematici, e solo raramente esistono database nazionali completi.

La metodologia proposta affronta questa complessità attraverso la redazione di una *long list* preliminare, ossia un elenco ampio e inclusivo di tutti i progetti che potrebbero contribuire agli impatti cumulativi. In questa fase prevale la logica della completezza rispetto a quella della selettività: l'analista deve adottare criteri di ricerca estesi e assicurarsi che nessun progetto venga prematuramente escluso dall'analisi. Le decisioni relative all'inclusione o all'esclusione dei progetti avverranno nelle fasi successive.

3.5 FILTRO SULLO STATO DI AVANZAMENTO

La *long list* dei progetti potenzialmente rilevanti deve essere raffinata attraverso un filtro basato sullo stato di avanzamento dei progetti. L'obiettivo di questa fase è escludere le iniziative che, non essendo più attive o non avendo possibilità concreta di realizzazione, non possono contribuire in alcun modo agli impatti cumulativi con il progetto in esame.

In Italia il procedimento autorizzativo ambientale si sviluppa attraverso fasi ricorrenti: presentazione dell'istanza, verifica di assoggettabilità, eventuale istruttoria di VIA con analisi tecniche e consultazioni, e decisione finale dell'autorità competente. In caso di esito positivo, il progetto può ottenere le ulteriori autorizzazioni e passare alla fase di realizzazione ed esercizio.

Dal punto di vista della valutazione degli impatti cumulativi emergono due criticità principali: la durata variabile e difficilmente prevedibile dell'iter autorizzativo, che rende complesso stimare quando un progetto produrrà effettivamente impatti, e la mancanza di un registro nazionale dei progetti non assoggettati a VIA, che risultano quindi difficili da tracciare nonostante possano contribuire al cumulo.

Alla luce di quanto esposto, i progetti individuati nella *long list* possono essere classificati in base al loro stato di avanzamento secondo le seguenti categorie:

- Esistente / in esercizio;
- Autorizzato / con decisione favorevole;
- In costruzione;
- In fase istruttoria / valutativa;
- Proposto / in iter di screening;
- Escluso dalla procedura di VIA;
- Bocciato / archiviato.

Il filtro sullo stato di avanzamento prevede di escludere dalla *long list* i progetti bocciati o archiviati, in quanto non verranno mai realizzati e non potranno pertanto generare alcun impatto cumulativo con il progetto in esame.

3.6 FILTRO SPAZIO-TEMPORALE

A questo stadio si dispone di una *long list* di progetti che deve essere analizzata sotto il profilo spaziale e temporale. Tale analisi consiste nel valutare le sovrapposizioni spaziali tra i progetti e i *buffer* individuati per ciascuna VEC, nonché le sovrapposizioni temporali tra i diversi interventi e la *timeline* progettuale. L'analisi spazio-temporale consente di selezionare, tra i progetti individuati nello screening preliminare, soltanto quelli che presentano una effettiva interferenza spaziale e/o temporale con il progetto oggetto di valutazione.

3.6.1 FILTRO SPAZIALE

Il filtro spaziale consente di individuare le effettive sovrapposizioni tra i progetti e le componenti ambientali di interesse. Essa viene condotta mediante l'utilizzo di un *software GIS* (ad esempio QGIS, ArcGIS o strumenti equivalenti), all'interno del quale vengono rappresentati l'area di progetto, i *buffer* spaziali definiti per ciascuna VEC e i confini dei progetti precedentemente individuati come potenzialmente rilevanti. L'analisi si basa su un confronto sia visivo che logico, ottenuto attraverso l'attivazione e la disattivazione dei *layer* relativi ai buffer spaziali delle singole componenti ambientali.

In particolare:

- Se un progetto ricade all'interno del buffer spaziale di una VEC, esso verrà considerato tra i progetti che generano cumulo per quella componente ambientale;
- Se un progetto si colloca al di fuori del buffer, la sua influenza è considerata non significativa, e può pertanto essere escluso dalle analisi cumulative relative a quella specifica VEC.

Attraverso questa procedura, l'analisi spaziale consente di filtrare in modo sistematico i progetti effettivamente interferenti, fornendo una rappresentazione geograficamente coerente delle relazioni di prossimità tra sorgenti di pressione e componenti ambientali sensibili.

3.6.2 FILTRO TEMPORALE

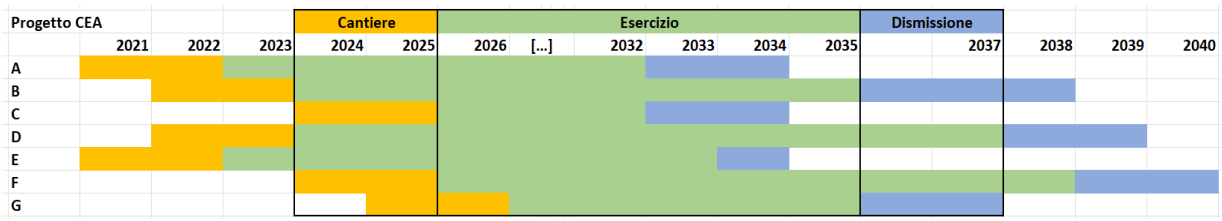
Parallelamente, è necessario condurre una valutazione delle sovrapposizioni temporali tra i diversi progetti, poiché gli impatti cumulativi si manifestano quando le pressioni ambientali agiscono *simultaneamente* sulla stessa componente ambientale.

L'analisi temporale si basa sull'esame delle sovrapposizioni tra le diverse fasi progettuali, che sono tendenzialmente classificate in fase di cantiere, di esercizio e di dismissione. Ogni progetto può interagire con quello in esame in una o più di queste fasi, ma non tutte le combinazioni determinano un cumulo effettivo: è infatti necessario che esista una reale sovrapposizione temporale.

Il *tipo* di sovrapposizione (cantiere-cantiere, cantiere-esercizio, etc.) e la *durata* della sovrapposizione influenzano direttamente l'intensità dell'impatto cumulativo.

Per visualizzare tali sovrapposizioni e procedere al conteggio degli anni di coincidenza, è utile elaborare una *timeline* progettuale, che rappresenti graficamente il ciclo di vita dei progetti coinvolti e le relative intersezioni temporali (Figura 7).

Figura 5 Esempio di Timeline



Fonte: autore

Il conteggio degli anni di sovrapposizione è propedeutico alla successiva fase di ponderazione, nella quale viene attribuito un peso maggiore ai progetti che presentano una maggiore coincidenza temporale con quello in esame. Inoltre, tale approccio consente di considerare le differenze qualitative tra gli impatti associati alle diverse fasi del ciclo di vita, garantendo una valutazione più accurata, realistica e coerente della dinamica temporale complessiva degli effetti ambientali. Tali aspetti saranno approfonditi nei paragrafi successivi.

3.7 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI CUMULATIVI

La valutazione degli impatti cumulativi viene condotta secondo un approccio VEC-centrico, analizzando una componente di valore ambientale alla volta. L'obiettivo di questa fase è verificare, per ciascuna VEC, se la somma delle pressioni generate dai diversi progetti possa determinare il superamento della capacità di carico ambientale della componente considerata.

3.7.1 ESCLUSIONE DELLA COMPONENTE SOCIALE

Fino a questo punto, la metodologia descritta è applicabile sia alle componenti ambientali sia a quelle sociali. Tuttavia, a partire da questa fase, l'analisi si concentra esclusivamente sulle componenti ambientali, rimandando la possibilità di estendere l'approccio alle componenti sociali a futuri sviluppi del presente lavoro.

Questa scelta è motivata dal fatto che le componenti sociali rispondono a logiche comportamentali e relazionali differenti rispetto a quelle ambientali, richiedendo quindi metodologie di analisi specifiche e dedicate.

La metodologia proposta si fonda sull'assunzione che, nel contesto ambientale, gli impatti positivi non siano considerati. L'analisi si sviluppa pertanto lungo un range che va da "*assenza di impatto*" a "*impatto sopra soglia*", escludendo la possibilità di considerare impatti con effetti positivi. Questa impostazione è coerente con un approccio precauzionale, volto a evitare forme di compensazione che potrebbero mascherare effetti ambientali critici. Diversamente, tale impostazione non può essere applicata alle componenti sociali, nelle quali gli effetti positivi – come, ad esempio, i benefici occupazionali o le ricadute economiche locali – rappresentano elementi rilevanti e non trascurabili in un contesto valutativo. Per queste ragioni, le formule e le analisi presentate nelle sezioni successive saranno applicate esclusivamente al contesto ambientale.

Di seguito vengono illustrati gli step procedurali della metodologia, che devono essere applicati singolarmente a ciascuna VEC precedentemente individuata.

3.7.2 IDENTIFICAZIONE DEGLI INDICATORI

Per ciascuna VEC viene individuato un set di indicatori rappresentativi degli impatti generati dai progetti su di essa. Successivamente, per ogni progetto che contribuisce al cumulo, tali indicatori

vengono calcolati e aggregati in un unico indice normalizzato, compreso tra 0 e 1, che esprime il livello complessivo di impatto associato al progetto nella specifica fase progettuale.

È opportuno sottolineare che ogni indicatore deve essere calcolato per ciascuna fase del ciclo di vita del progetto (cantiere, esercizio e dismissione), poiché la natura e l'intensità degli impatti possono variare non solo tra progetti diversi, ma anche tra le diverse fasi di uno stesso intervento.

La logica sottostante alla definizione del set di indicatori si fonda su un necessario *trade-off*: da un lato, occorre essere quanto più esaustivi possibile nella selezione, includendo tutti gli indicatori potenzialmente rilevanti; dall'altro, è importante evitare di introdurre variabili ridondanti o di scarsa utilità.

Per alcuni esempi di indicatori applicabili alle diverse VEC, si rimanda al Paragrafo 4, relativo all'applicazione della metodologia al caso di studio.

3.7.3 CONFRONTO NORMALIZZATO DEGLI INDICATORI CON LA SOGLIA

Per ciascun indicatore vengono individuate le soglie di riferimento, intese come il livello massimo di alterazione oltre il quale si ritiene che la componente ambientale di valore possa subire un danno significativo o potenzialmente irreversibile.

Tali soglie sono generalmente definite da disposizioni normative, standard tecnici o linee guida internazionali (es. *Organizzazione Mondiale della Sanità* - OMS, *Banca Mondiale*, *International Finance Corporation* - IFC, *Food and Agricolture Organization* - FAO, *International Union for Conservation of Nature* – IUCN etc.). Ogni soglia adottata deve essere accompagnata da una motivazione sintetica, che ne espliciti la fonte e la pertinenza rispetto alla componente ambientale analizzata. Tale contestualizzazione consente di garantire la trasparenza metodologica e la riproducibilità del processo valutativo.

Numerosi organismi internazionali mettono a disposizione banche dati e linee guida utili per l'individuazione di soglie ambientali di riferimento. La principale fonte normativa rimane quella nazionale del Paese in cui il progetto è localizzato; tuttavia, per interventi di carattere internazionale o in assenza di disposizioni specifiche, possono essere adottati riferimenti tecnico-scientifici riconosciuti a livello globale, mostrati nella seguente tabella.

Tabella 4 Riferimenti per l'individuazione delle soglie

Nome del documento	**Link**
WHO Global Air Quality Guidelines - 2021	*https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/551b515e-2a32-4e1a-a58c-cdaecd395b19/content*
WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants (2010)	*https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/202feb0d-06e8-418d-8e38-8927ec2d166b/content*

Nome del documento	Link
WHO Air Quality Standards Database (Interactive Tool, Febbraio 2025)	*https://www.who.int/tools/air-quality-standards*
IFC / World Bank – Environmental, Health and Safety (EHS) Guidelines (2023)	*www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2023/ifc-general-ehs-guidelines.pdf*
FAO[20]/WHO Codex Alimentarius – Guidelines for Water Quality and Agricultural Use	*https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/jp/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXG%2B100-2023%252FCXG_100e.pdf*
IUCN[21] – Red List & Ecosystem Guidelines	*https://iucn.org/about-iucn*

Fonte: autore

Una volta individuate le soglie di riferimento, è possibile procedere con il confronto normalizzato tra i valori degli indicatori e le rispettive soglie. L'obiettivo di tale procedura è la definizione di un indice normalizzato, compreso tra 0 e 1, in cui:

- il valore **0** rappresenta la condizione di assenza di impatto (valore dell'indicatore nullo o trascurabile rispetto alla soglia);
- il valore **1** indica che la soglia di riferimento è stata raggiunta o superata, e dunque l'impatto è da considerarsi significativo.

La normalizzazione consente di ottenere, per ciascun indicatore, un indice omogeneo e confrontabile, indipendentemente dalla natura o dall'unità di misura originaria del parametro. Il vantaggio di tale operazione è duplice:

- **Valutativo**: il confronto con la soglia normativa o tecnica di riferimento permette di interpretare correttamente il valore calcolato dell'indicatore, consentendo di giudicare se esso rientra entro limiti accettabili o se evidenzia un livello di impatto critico. In assenza di una soglia, infatti, il valore numerico dell'indicatore risulterebbe privo di significato relativo, non essendo possibile determinarne la gravità o la rilevanza ambientale.
- **Comparativo e integrativo**: la trasformazione di tutti gli indicatori su una scala comune normalizzata (0–1) consente di metterli a confronto tra loro e di aggregarli in un indice sintetico di impatto, superando le differenze dovute a unità di misura eterogenee (spaziali, temporali o dimensionali).

[20] FAO: Food and Agricolture Organization
[21] IUCN: International Union for Conservation of Nature

A seconda del tipo di soglia, il calcolo dell'indice normalizzato (I) frutto del confronto tra l'indicatore e la relativa soglia di riferimento, può essere calcolato in modi differenti (Tabella 5).

Tabella 5 Formule per il confronto normalizzato in funzione del tipo di soglia

Tipologia di soglia	Formula del confronto normalizzato	Esempio
Soglia assoluta – rappresenta il limite massimo ammissibile che non deve essere superato.	$I = \min\left(1, \frac{valore}{soglia}\right)$ L'indice normalizzato è il minimo tra 1 (superamento della soglia) e il rapporto tra l'indicatore misurato e la soglia stabilita.	Valore misurato di $PM_{2.5}$ = 12 µg/m³, a fronte di una soglia fissata a 15 µg/m³, allora: $I = \min\left(1, \frac{12}{15}\right) = 0{,}8$ L'impatto è inferiore alla soglia ma prossimo al superamento.
Soglia incrementale – definita come l'aumento massimo ammissibile rispetto alle condizioni di *baseline*.	$I = \min\left(1, \frac{\Delta}{\Delta_{soglia}}\right)$ Dove $\Delta = valore - baseline$, indice di quanto è aumentato il valore di fondo a seguito della pressione ambientale generata dal progetto.	La torbidità di fondo di un corso d'acqua è di 2 NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*), dopo i lavori sale a 5 NTU, quindi $\Delta = 5 - 2 = 3$. La soglia incrementale ammessa è +5NTU, dunque: $I = \min\left(1, \frac{3}{5}\right) = 0{,}6$ Impatto sottosoglia, ma ulteriori aumenti potrebbero portare a un peggioramento significativo.
Soglie inverse – per le quali il peggioramento della condizione ambientale si verifica *al diminuire* dell'indicatore (valori elevati corrispondono a una situazione favorevole).	$I = \min\left(1, \left\lvert\frac{valore - baseline}{soglia - baseline}\right\rvert\right)$	Ossigeno Disciolto (DO): baseline = 8 mg/L, post lavori = 6 mg/L. Il valore soglia stabilisce che non deve scendere sotto i 5 mg/L. Allora: $I = \min\left(1, \left\lvert\frac{6-8}{5-8}\right\rvert\right) \cong 0{,}66$ Impatto sottosoglia, ma ulteriori aumenti potrebbero portare a un peggioramento significativo.
Soglie intervallo – l'indicatore deve rientrare in un intervallo di riferimento.	$I = \begin{cases} 1, & se\ x \leq x_{min} o\ x \geq x_{max} \\ 1 - \exp\left(-\frac{1}{2}z^2\right), & altrimenti \end{cases}$ Dove: • x_{min} e x_{max}: valore minimo e massimo dell'intervallo;	Il valore di pH misurato è 7,5 e la soglia stabilisce che deve essere compreso tra 6 e 8. Dunque, siamo nella situazione in cui $6 < pH < 8$, di conseguenza:

<table>
<tr><th>Tipologia
di soglia</th><th>Formula del confronto normalizzato</th><th>Esempio</th></tr>
<tr><td></td><td>• $\mu = \frac{x_{min}+x_{max}}{2}$: media dell’intervallo;
• $\sigma = \frac{x_{max}-x_{min}}{6}$: deviazione standard dell’intervallo;
• $z = \frac{x-\mu}{\sigma}$: normalizzazione della variabile.
La funzione di normalizzazione è definita in modo che l’indice assuma valore unitario per valori esterni all’intervallo, mentre, per valori interni, segua un andamento gaussiano con minimo (0) al centro e valori crescenti fino a 1 in prossimità dei limiti.</td><td>• $\mu = \frac{6+8}{2} = 7$;
• $\sigma = \frac{8-6}{6} = 0{,}3333$
• $z = \frac{7{,}5-7}{0{,}333} \cong 1{,}5$
$I = 1 - \exp\left(-\frac{1}{2}1{,}5^2\right) \cong 0{,}675$</td></tr>
<tr><td>Indicatori qualitativa – relativa agli indicatori che non assumono valori numerici, bensì qualitativi (es. basso, medio, alto).</td><td>A ciascun indicatore si assegna un punteggio già normalizzato in base alla classe di appartenenza qualitativa dell’impatto:<table><tr><th>Classe di appartenenza</th><th>Indice normalizzato</th></tr><tr><td>Basso</td><td>0 - 0,330</td></tr><tr><td>Medio</td><td>0,331 - 0,660</td></tr><tr><td>Alto</td><td>0,661- 1,000</td></tr></table></td><td>Livello di pressione antropica “medio”. Il corrispondente valore dell’indice normalizzato è 0,66.</td></tr>
</table>

Fonte: autore

3.7.4 AGGREGAZIONE DEGLI INDICATORI

Il confronto tra ciascun indicatore e la relativa soglia di riferimento consente di ottenere un indice normalizzato compreso tra 0 e 1, dove 0 indica l’assenza di impatto e 1 il superamento della soglia. Per ogni progetto cumulante sono stati quindi calcolati tre insiemi di indici normalizzati, uno per ciascuna fase del ciclo di vita (cantiere, esercizio, dismissione).

Una volta ottenuti questi valori puntuali, è necessario procedere con un’aggregazione interna a ciascuna fase progettuale, al fine di ricavare un unico indice sintetico — sempre compreso tra 0 e 1 — per la fase di cantiere, uno per la fase di esercizio e uno per la fase di dismissione. In altri termini, per

ogni progetto si passa da una molteplicità di indici (uno per ogni indicatore) a tre indici complessivi, ciascuno rappresentativo del livello medio di impatto nella rispettiva fase.

Il criterio di aggregazione adottato è la media aritmetica, come mostrato dalla formula seguente:

$$I_{k,f} = \frac{\sum_i I_{k,f,i}}{n}$$

Dove:

- $I_{k,f}$: indice aggregato per il progetto "k", nella fase progettuale "f";
- $I_{k,f,i}$: indice derivante dal confronto normalizzato con la soglia relativo all'indicatore "i", del progetto "k" nella fase progettuale "f";
- n: numero di indicatori considerati.

Tale approccio può tuttavia essere sostituito, qualora l'analista disponga di adeguate motivazioni, da una media pesata o da formule di aggregazione più complesse, che devono essere opportunamente giustificate dall'analista.

3.7.5 AGGREGAZIONE DEI PROGETTI

A questo punto dell'analisi si dispone, per ciascun progetto, di tre indici normalizzati, uno per ogni fase progettuale, indicati rispettivamente come $I_{k,c}, I_{k,e}, I_{k,d}$. L'obiettivo è aggregare tali contributi al fine di calcolare l'impatto cumulativo finale.

L'impatto cumulativo viene determinato per ogni componente ambientale e per ciascuna fase del ciclo di vita del progetto sottoposto a CEA. L'output della metodologia consiste pertanto in tre indici complessivi — relativi alle fasi di cantiere, esercizio e dismissione — calcolati per ogni VEC. Ciascuna componente ambientale sarà dunque caratterizzata da tre valori normalizzati, compresi tra 0 e 1, rispettivamente indicati come $I^c_{cum}, I^e_{cum}, I^d_{cum}$.

Per effettuare tale aggregazione, è necessario richiamare quanto già evidenziato nella fase di analisi temporale: i diversi progetti contribuiscono al valore complessivo dell'impatto cumulativo in funzione delle sovrapposizioni temporali delle loro fasi progettuali. È pertanto necessario tenere conto di due aspetti temporali fondamentali:

1. Il progetto generico *k* può generare un cumulo di impatti con il progetto in esame in una o più fasi progettuali *f*, alle quali sono associati differenti indici di impatto.
2. La durata della sovrapposizione temporale tra l'impatto del progetto *k-esimo* e quello del progetto in esame varia da intervento a intervento.

Per considerare correttamente tali aspetti, si fa riferimento alla *timeline* elaborata nella fase di analisi temporale, mediante la quale è possibile quantificare il numero di anni di sovrapposizione tra ciascuna fase progettuale dei progetti *k* e la fase *f* del progetto in esame.

A tal fine, vengono definiti tre parametri di proporzionalità temporale per ogni fase progettuale:

- $w_{k,c}$: numero di anni in cui la fase di cantiere (*c*) del progetto *k* si sovrappone alla fase *f* per la quale si sta calcolando l'indice aggregato;
- $w_{k,e}$: numero di anni in cui la fase di esercizio (*e*) del progetto *k* si sovrappone alla fase *f* di interesse;
- $w_{k,d}$: numero di anni in cui la fase di dismissione (*d*) del progetto *k* si sovrappone alla fase *f* in esame.

Il conteggio di tali durate risulta immediato, come mostrato nella figura seguente.

Figura 6 Analisi della timeline per il calcolo degli indici di proporzionalità

Fonte: autore

A titolo esemplificativo, per il progetto "A" sono riportati nella tabella seguente i rispettivi parametri di proporzionalità temporale.

Tabella 6 Parametri di proporzionalità temporale – Progetto A

$w_{Progetto\ A,f}$	**Sovrapposizione con il cantiere del Progetto CEA* [anni]**	**Sovrapposizione con l'esercizio del Progetto CEA [anni]**	**Sovrapposizione con la dismissione del Progetto CEA [anni]**
$w_{Progetto\ A,c}$	0	0	0
$w_{Progetto\ A,e}$	2	6	0
$w_{Progetto\ A,d}$	0	2	0

Fonte: autore

(*)Progetto CEA: è il progetto per cui si sta redigendo la valutazione degli impatti cumulativi.

Tali indici rientrano nel calcolo della seguente sommatoria, che rappresenta gli impatti cumulativi generati da tutti i progetti individuati:

$$S^* = \sum_K \left(\frac{w_{k,c}}{d_f} * I_{k,c} + \frac{w_{k,e}}{d_f} * I_{k,e} + \frac{w_{k,d}}{d_f} * I_{k,d} \right)$$

Dove:

- $w_{k,c}, w_{k,e}, w_{k,d}$ rappresentano gli indici di proporzionalità appena calcolati, nonchè il numero di anni in cui le rispettive fasi del progetto *k* si sovrappongono alla fase *f* del progetto in esame per la quale si sta calcolando l'indice cumulativo;
- d_f indica la durata della fase progettuale *f* del progetto in esame per la quale si sta calcolando l'indice cumulativo;
- $I_{k,c}, I_{k,e}, I_{k,d}$ rappresentano gli indici aggregati di impatto associati rispettivamente alle tre fasi progettuali, ottenuti come media aritmetica degli indici normalizzati rispetto alla soglia di riferimento.

Il valore S^* rappresenta dunque il contributo complessivo sull'indice cumulativo finale relativo alla fase *f*, derivante da tutti i progetti che possono generare cumulo con il progetto in esame. Tale contributo è calcolato come media pesata, in cui i pesi sono dati dal rapporto tra il numero di anni in cui ciascun progetto risulta "attivo" nella fase considerata e la durata complessiva della corrispondente fase progettuale del progetto in esame.

A questo punto, l'indice cumulativo finale viene calcolato assumendo un andamento esponenziale saturante del tipo:

$$y = 1 - \exp(-x)$$

La scelta di tale funzione consente di rappresentare il comportamento non lineare del cumulo tra progetti. In particolare, in un'ottica conservativa, si assume che il cumulo sia più che lineare, con asintoto superiore pari a 1.

Il valore 1, coerentemente con la logica di confronto normalizzato introdotta in precedenza, rappresenta il livello di saturazione degli impatti sulla componente ambientale in esame.

Dal punto di vista matematico, una funzione esponenziale saturante parte da valori prossimi a zero e tende ad un valore limite pari a 1. Tuttavia, nel presente caso, la funzione deve essere forzata a partire da un "pavimento" corrispondente all'indice di impatto associato al solo progetto in esame. Infatti, in assenza di altri progetti che generano cumulo, l'impatto minimo sulla VEC corrisponde esattamente all'impatto del progetto stesso.

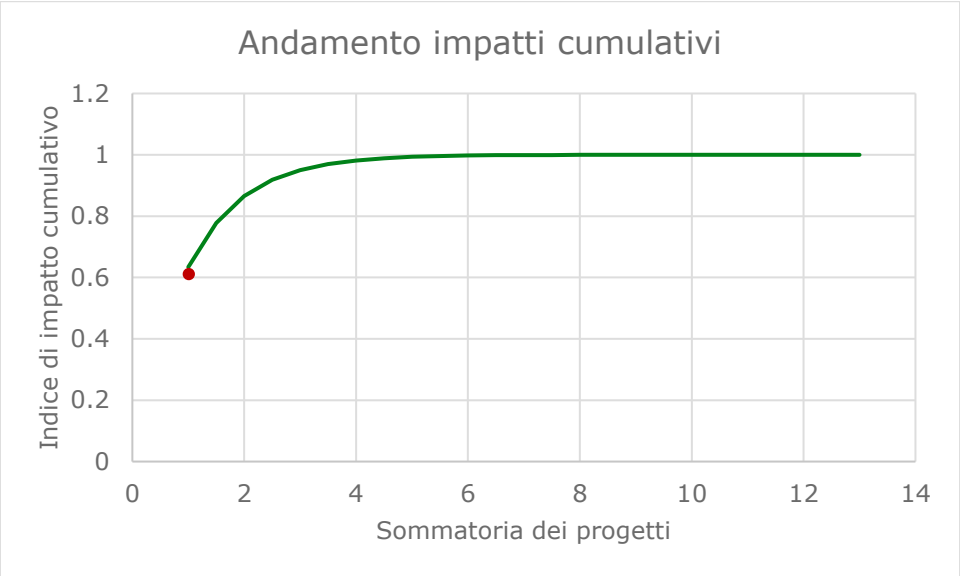
Per questo motivo, la formula di calcolo dell'indice cumulativo associato alla fase *f* per la VEC in esame assume la seguente forma:

$$I_{cum}^{f} = 1 - \left(1 - I_{CEA}^{f}\right) * \exp(-S^*)$$

dove I_{CEA}^{f} rappresenta l'indice aggregato di impatto cumulativo relativo alla fase *f* del progetto in esame oggetto di CEA e costituisce il pavimento della funzione esponenziale che, in questa nuova formulazione, invece di partire da 0, parte da I_{CEA}^{f}.

L'andamento della funzione è illustrato nel grafico seguente, che evidenzia la natura esponenziale e la tendenza alla saturazione del valore cumulativo.

Figura 7 *Andamento esponenziale saturante degli impatti cumulativi*



Fonte: autore

Nel grafico, il pallino rosso rappresenta il valore di I_{CEA}^{f}, ovvero il contributo del progetto in esame, nonché il "pavimento" della funzione, al quale si sommano in modo esponenziale gli impatti generati da tutti gli altri progetti (S^{*}), fino a raggiungere l'asintoto superiore unitario.

La formula descritta necessita di un'ultima correzione, volta a considerare lo stato di partenza della componente ambientale di valore oggetto di valutazione. Come già evidenziato in precedenza, infatti, la capacità di una determinata componente ambientale di assorbire e compensare gli impatti a cui è sottoposta dipende fortemente dalle sue condizioni iniziali.

In particolare, una componente ambientale già fortemente degradata dalle pressioni antropiche tenderà a raggiungere la saturazione degli impatti con pochi ulteriori contributi cumulativi; al contrario, una componente ambientale in buone condizioni mostrerà una maggiore resilienza e capacità di assorbimento nei confronti di nuove pressioni.

Per tener conto di questo aspetto, si introduce nella formula un parametro di baseline, indicato con b_0, che rappresenta lo stato iniziale della componente ambientale. Tale parametro, di seguito chiamato anche "coefficiente di saturazione", modifica la rapidità con cui la funzione di saturazione tende al valore massimo. A valle di tale correzione, l'espressione finale per il calcolo dell'indice cumulativo assume la seguente forma:

$$I_{cum}^{f} = 1 - \left(1 - I_{CEA}^{f}\right) * \exp(-b_0 S^{*})$$

Il coefficiente di saturazione b_0 regola la velocità di saturazione della curva, in particolare:

- valori elevati di b_0 determinano una saturazione più rapida verso 1 e devono quindi essere associati a componenti ambientali che presentano condizioni di baseline critiche;
- al contrario, valori bassi di b_0 producono una saturazione più lenta, rappresentando componenti ambientali meno compromesse e più resilienti.

Il valore di b_0 influenza in modo significativo il risultato dell'analisi; pertanto, esso non deve essere scelto arbitrariamente, ma opportunamente calibrato sulla base di dati empirici, letteratura scientifica o criteri di valutazione ambientale coerenti con il contesto di studio.

3.7.5.1 STIMA DEL PARAMETRO b_0

Per la stima del parametro b_0 si utilizza il metodo dei minimi quadrati. Tra i requisiti fondamentali per l'applicazione di tale metodo vi è la linearità del modello rispetto ai parametri da stimare. Tuttavia, il modello proposto non è lineare in b_0. Pertanto, si procede con una rielaborazione algebrica al fine di ricondurre il modello a una forma lineare nel parametro b_0, come mostrato di seguito.

$$I_{cum}^{f} = 1 - \left(1 - I_{CEA}^{f}\right) * \exp(-b_0 S^*)$$

Riorganizzando i termini:

$$\frac{1 - I_{cum}^{f}}{1 - I_{CEA}^{f}} = \exp(-b_0 S^*) \rightarrow \ \ln\left(\frac{1 - I_{cum}^{f}}{1 - I_{CEA}^{f}}\right) = -b_0 S^*$$

Definendo:

$$\ln\left(\frac{1 - I_{cum}^{f}}{1 - I_{CEA}^{f}}\right) = z$$

il modello assume la forma lineare:

$$z = -b_0 S^*$$

A questo punto è possibile applicare il metodo dei minimi quadrati, che prevede la minimizzazione dello scarto quadratico complessivo:

$$J = \sum_{i=1}^{n} (z_i - \widehat{z_i})^2 = \sum_{i=1}^{n} \left(z_i - (-b_0 S_i^*)\right)^2 = \sum_{i=1}^{n} (z_i + b_0 S_i^*)^2$$

La funzione obiettivo J rappresenta lo scarto quadratico medio, che deve essere minimizzato. Per trovare il valore ottimale di b_0, si annulla la derivata prima di J rispetto a b_0:

$$\frac{\partial J}{\partial b} = 0$$

Calcolando la derivata si ottiene:

$$\frac{\partial J}{\partial b} = 2\sum_{i=1}^{n}(z_i + b_0 S_i^*)\, S_i^*$$

Ponendo nulla la derivata:

$$2\sum_{i=1}^{n}(z_i + b_0 S_i^*)\, S_i^* = 0 \rightarrow \sum_{i=1}^{n} z_i S_i^* + b_0 \sum_{i=1}^{n} {S_i^*}^2 = 0$$

Da cui si ricava l'espressione analitica per il parametro b_0:

$$b_0 = -\frac{\sum_i z_i S_i^*}{\sum_i {S_i^*}^2}$$

Dove:

$$z_i = \ln\left(\frac{1 - I_{cum,i}^f}{1 - I_{CEA}^f}\right)$$

Per la stima parametrica, è stato considerato un dataset di 200 osservazioni provenienti dalle banche dati ERM (sottoposto a politiche di *disclosure* aziendale), suddiviso in:

- 140 valori utilizzati per la fase di calibrazione del modello;
- 60 valori impiegati per la fase di validazione.

Nel processo di stima si tiene conto che l'altro parametro presente nella formula, I_{CEA}^f, è un valore noto compreso tra 0 e 1, derivante da una media aritmetica di indici normalizzati. Pertanto, al termine della procedura di calibrazione si ottiene un intervallo plausibile di valori per b_0. Dalla procedura risulta che il parametro b_0 varia in un intervallo compreso tra 0,001 e 0,045. Tali valori rappresentano gli estremi calcolati rispettivamente per I_{CEA}^f tendente a 0 e per I_{CEA}^f tendente a 1.

Come già illustrato, al variare di b_0 cambia la rapidità con cui la curva di saturazione tende al valore unitario. Sulla base di questa relazione, sono stati individuati tre intervalli di valori di b_0, corrispondenti a differenti livelli di sensibilità e resilienza della componente ambientale analizzata, come riportato nella tabella seguente.

Tabella 7 Valore di b_0 in relazione allo stato di baseline

Sensibilità della VEC	Significato fisico	Range di b_0	Effetto sulla saturazione degli impatti cumulativi
Bassa	Ambiente resistente → accumula impatti lentamente	0,001 – 0,016	Crescita lenta
Media	Sensibilità intermedia → risposta proporzionale	0,017 – 0,030	Crescita graduale
Alta	Ambiente fragile → gli impatti cumulano in fretta	0,031 – 0,045	Crescita rapida

Fonte: autore

Per ciascuna componente ambientale di valore si analizza la qualità dello stato di partenza e, in base alle informazioni disponibili, si seleziona il valore di b_0 più appropriato secondo i criteri riportati in Tabella 7.

Per verificare l'affidabilità del valore di b_0 ottenuto in fase di calibrazione, è stata condotta una fase di validazione su un sottoinsieme indipendente del dataset (60 osservazioni). Per ciascun valore di S^* del dataset di validazione è stato calcolato il valore previsto dal modello secondo l'equazione:

$$\hat{I}^f_{cum} = 1 - \left(1 - I^f_{CEA}\right) * \exp\left(\hat{z}_i\right)$$

Dove:

$$\hat{z}_i = -\hat{b}_0 * S^*_{i,val}$$

L'errore di stima è stato valutato come differenza tra i valori previsti dal modello e quelli osservati:

$$e = \hat{I}^f_{cum} - I^f_{cum}$$

Per valutare la qualità della previsione del modello e verificare se l'errore ottenuto è accettabile, è stato calcolato il coefficiente di determinazione R^2, definito come:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(I^f_{cum,i} - \hat{I}^f_{cum,i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(I^f_{cum,i} - \bar{I}^f_{cum,i}\right)^2}$$

Dove:

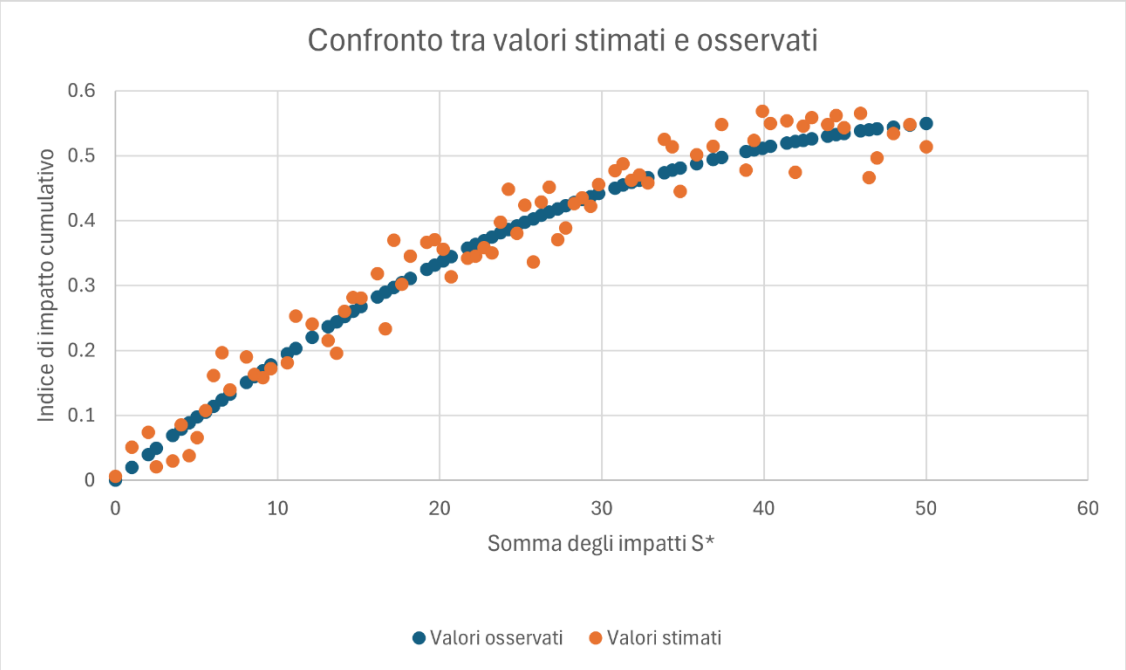
- $I^{f}_{cum,i}$ è il valore osservato dell'impatto cumulativo;
- $\hat{I}^{f}_{cum,i}$ è il valore stimato dal modello;
- $\bar{I}^{f}_{cum,i}$ è il valore medio dei valori osservati;
- n è il numero di osservazioni del dataset di validazione.

Il coefficiente R^2 quantifica la proporzione della varianza dei dati osservati spiegata dal modello:

- $R^2 = 1$ indica una corrispondenza perfetta tra modello e dati;
- $R^2 = 0$ indica che il modello non spiega alcuna variabilità.

Nel presente caso, il coefficiente di determinazione calcolato sui dati di validazione risulta pari a $R^2 = 0{,}86$, valore che evidenzia un'elevata aderenza del modello ai dati osservati. Ciò conferma la bontà della calibrazione del parametro b_0 e la capacità predittiva della funzione esponenziale saturante nel rappresentare in modo realistico l'andamento degli impatti cumulativi in funzione del grado di sovrapposizione dei progetti. Di seguito il confronto visivo tra valori osservati e valori stimati.

Figura 8 Valori osservati e stimati a confronto



Fonte: autore

3.8 ANALISI DI SENSITIVITÀ DEL METODO

L'analisi di sensitività ha lo scopo di verificare la robustezza e la coerenza del metodo proposto, valutandone il comportamento al variare di specifiche condizioni di input e parametri di controllo.

In particolare, l'analisi è stata condotta considerando due aspetti principali:

1. Verifica dei casi limite

   Sono stati esaminati due scenari estremi con finalità di controllo concettuale del modello:

   - Assenza di progetti concomitanti: nel caso in cui non siano presenti altri progetti oltre a quello oggetto di valutazione, l'indice cumulativo finale deve risultare coincidente con l'indice normalizzato del progetto in esame, poiché rappresenta l'unico contributo all'impatto complessivo.
   - Numero infinito di progetti: in condizioni teoriche di sovrapposizione con un numero molto elevato di progetti, l'indice cumulativo deve tendere asintoticamente a 1, corrispondente alla saturazione della capacità di assorbimento della VEC considerata.

2. Sensibilità del modello al parametro b_0

   Il secondo aspetto analizzato riguarda la sensibilità del modello rispetto al coefficiente di saturazione b_0. Tale parametro controlla la velocità con cui l'indice cumulativo tende al valore unitario, ed è direttamente associato alle condizioni di baseline della componente ambientale. A parità di dati di input, si è proceduto a variare b_0 all'interno dell'intervallo di valori precedentemente calibrato, analizzando la conseguente variazione dell'indice cumulativo finale I_{cum}^{f}. In questo modo è stato possibile quantificare la risposta del modello al mutare della resilienza ambientale, valutando l'effetto del parametro sulla rapidità di saturazione.

Per l'analisi di sensitività del metodo si rimanda al capitolo successivo, dedicato all'applicazione al caso studio.

4. APPLICAZIONE AL CASO STUDIO

L'esperienza professionale recentemente maturata presso la società di consulenza ambientale ERM (*Environmental Resources Management*) ha consentito di approfondire numerosi casi studio inerenti la valutazione degli impatti ambientali, con particolare riferimento alla valutazione degli impatti cumulativi.

Il presente capitolo si propone di illustrare uno di tali casi studio e di applicare la metodologia di analisi degli impatti cumulativi sviluppata nel capitolo precedente. L'obiettivo è quello di trasferire la metodologia da un piano teorico a un piano operativo, verificandone la coerenza, la robustezza e l'efficacia in un contesto reale.

Per ragioni di riservatezza e in conformità alle politiche aziendali di *disclosure*, non è possibile fornire informazioni dettagliate su alcuni aspetti del progetto, quali la localizzazione esatta e le tecnologie impiegate. Nel presente elaborato il progetto sarà pertanto indicato con la denominazione convenzionale "Progetto di industria pesante", e ne verranno riportate esclusivamente le informazioni generali necessarie alla comprensione delle analisi condotte.

Nei paragrafi seguenti viene illustrata l'applicazione della metodologia proposta per la valutazione degli impatti cumulativi, seguendo i passaggi procedurali definiti al capitolo 3. L'applicazione al caso studio si concentra sulle componenti ambientali, rinviando a futuri sviluppi della metodologia l'estensione dell'analisi alle componenti sociali.

4.1 IDENTIFICAZIONE DELLE COMPONENTI AMBIENTALI DI VALORE (VEC)

A seguito di un'ampia consultazione pubblica con la popolazione locale e con le principali istituzioni territoriali, sono state individuate le seguenti componenti ambientali di valore, ritenute maggiormente rappresentative delle sensibilità del contesto di riferimento:

- Qualità dell'aria;
- Qualità delle acque superficiali;
- Inquinamento acustico (rumore);
- Contaminazione del suolo;
- Biodiversità, flora e fauna terrestre;
- Biodiversità, flora e fauna marina;
- Paesaggio.

Si precisa che le acque superficiali riguardano prevalentemente un fiume presente nell'area di progetto e che la trattazione delle acque marino-costiere viene aggregata alla componente "biodiversità flora e fauna marina". Nell'area non si riscontra la presenza di laghi o di altri corpi idrici.

Per ciascuna delle VEC individuate, vengono riportate le principali considerazioni emerse in fase di definizione della baseline ambientale. Tali considerazioni costituiscono un elemento chiave per la

successiva valutazione della significatività degli impatti cumulativi, in quanto permettono di comprendere lo stato di partenza e la vulnerabilità del sistema ambientale rispetto alle pressioni indotte dalle attività di progetto.

La baseline rappresenta la fase della valutazione degli impatti in cui viene descritto lo stato attuale dell'ambiente, fornendo il quadro conoscitivo di riferimento necessario per la stima degli effetti attesi.

Poiché la VIA relativa al progetto caso studio risulta ancora in fase di redazione, le condizioni di baseline qui riportate si riferiscono all'anno 2025.

I dati utilizzati derivano da una rete di centraline di monitoraggio ambientale distribuite sul territorio; per ciascuna componente è stata selezionata la stazione di misura più prossima all'area di progetto, in modo da garantire la rappresentatività territoriale delle informazioni raccolte.

Tabella 8 Recupero delle informazioni di baseline

Componente Ambientale di Valore (VEC)	Descrizione status quo (baseline)
Qualità dell'aria	L'analisi dei più recenti dati di monitoraggio dell'aria restituisce un quadro complessivamente positivo, indicando un ambiente atmosferico in buone condizioni e in progressivo miglioramento. Le concentrazioni medie annue dei principali inquinanti risultano significativamente inferiori ai limiti stabiliti dalla normativa vigente, confermando il rispetto degli standard di qualità dell'aria. L'andamento pluriennale dei dati mostra una graduale diminuzione delle concentrazioni di biossido di azoto (NO_2), indice di un'efficace riduzione delle emissioni legate principalmente al traffico veicolare e ai processi di combustione. Il particolato atmosferico (PM_{10} e $PM_{2,5}$) evidenzia una sostanziale stabilità, suggerendo un equilibrio tra le fonti emissive locali e la capacità di dispersione del sistema atmosferico. Dal punto di vista morfologico e meteoclimatico, l'area beneficia di una buona ventilazione naturale, favorita dalla vicinanza al mare, che contribuisce alla diluizione e alla dispersione degli inquinanti. Ciò conferisce al sistema atmosferico una notevole resilienza, capace di mitigare eventuali incrementi temporanei di emissioni. Nonostante la presenza di sorgenti industriali e infrastrutturali, non emergono elementi di criticità o situazioni prossime ai limiti di legge. Pertanto, la componente "Qualità dell'aria" è stata valutata come a **sensibilità bassa**, poiché caratterizzata da condizioni di qualità soddisfacenti, da un contesto emissivo sotto controllo e da una risposta ambientale complessivamente stabile e resiliente.
Qualità delle acque superficiali (fiumi, laghi, acque di	L'area di progetto si colloca a circa un chilometro da un fiume che presenta, secondo i dati di monitoraggio 2023, uno stato ecologico e chimico "buono" lungo l'intero tratto. In prossimità della foce, il corso d'acqua è compreso nella categoria delle "acque di transizione", anch'esse caratterizzate da uno stato "buono" in base alle

Componente Ambientale di Valore (VEC)	Descrizione status quo (baseline)
transizione e marino-costiere)	ultime rilevazioni disponibili (2021). Nel complesso, il corpo idrico evidenzia buone condizioni ambientali e una stabilità nel tempo, con limitata influenza di pressioni antropiche dirette riconducibili all'area di progetto. Tuttavia, la presenza di un contesto idrologico sensibile e l'eventuale possibilità che modifiche locali (quali variazioni di permeabilità dei suoli, incremento dei deflussi superficiali o alterazioni delle dinamiche idrauliche) possano incidere sulla qualità o sulla quantità delle acque, suggeriscono la necessità di una moderata attenzione gestionale. Alla luce di questi elementi, la componente "Acque superficiali e sotterranee" è stata classificata come a **sensibilità medio-bassa**, in quanto caratterizzata da buone condizioni qualitative e da un equilibrio generale, ma con un livello di vulnerabilità potenziale rispetto a eventuali incrementi di carico o alterazioni idrologiche legate alle attività antropiche.
Inquinamento acustico (rumore)	Il contesto acustico di riferimento risulta fortemente antropizzato, con una marcata presenza di attività industriali e infrastrutturali che determinano livelli sonori medio-alti e costanti nel tempo. L'area è classificata, secondo la zonizzazione acustica comunale, in Classe VI – "Aree esclusivamente industriali", per le quali la normativa prevede limiti di 70 dB(A) sia nel periodo diurno (06:00–22:00) sia in quello notturno (22:00–06:00). Le campagne di monitoraggio acustico hanno rilevato livelli medi di pressione sonora prossimi ai limiti di legge, con valori compresi tra 65 e 69 dB(A) nelle postazioni di misura maggiormente esposte. Pur non registrando superamenti normativi, il limitato margine di sicurezza rispetto ai valori limite indica che l'ambiente acustico è già sottoposto a un carico significativo, tipico di contesti industriali consolidati. Nel complesso, la componente "Rumore" presenta condizioni di qualità acustica compatibili con la destinazione d'uso dell'area, ma con una moderata criticità dovuta all'elevato livello di pressione sonora di fondo e alla scarsa capacità di assorbire ulteriori incrementi emissivi senza compromettere il rispetto dei limiti. Per tali ragioni, la componente è classificata come a **sensibilità media**, riflettendo un equilibrio tra conformità normativa e vulnerabilità residua del sistema acustico locale.
Contaminazione del suolo	L'area oggetto di analisi si inserisce in un contesto industriale storico, caratterizzato da un elevato grado di antropizzazione e da un uso intensivo del suolo nel corso del tempo. Le passate attività produttive e gli interventi di riempimento hanno modificato in modo significativo la morfologia originaria, determinando la presenza di un substrato eterogeneo costituito in parte da materiali di riporto. Le indagini ambientali condotte sui suoli hanno evidenziato presenze diffuse di contaminazione, con superamenti dei valori di concentrazione soglia di contaminazione per alcuni metalli pesanti e per composti organici quali idrocarburi

Componente Ambientale di Valore (VEC)	Descrizione status quo (baseline)
	policiclici aromatici (IPA), idrocarburi pesanti (C>12) in punti localizzati del sito. Si tratta di contaminazioni riconducibili principalmente alla lunga storia industriale dell'area, più che a sorgenti emissive attive attualmente. Dal punto di vista geologico, la stratigrafia locale mostra la presenza di riempimenti artificiali e depositi sabbiosi-argillosi con permeabilità variabile, che limitano in parte la mobilità degli inquinanti ma al contempo ne favoriscono la persistenza. Nel complesso, la componente "Suolo e sottosuolo" presenta un livello di qualità ambientale compromesso, sebbene in una condizione relativamente stabile e conosciuta. L'elevato grado di antropizzazione e la presenza di contaminanti residui storici giustificano una classificazione a **sensibilità alta**, in quanto il sistema risulta vulnerabile a ulteriori pressioni e richiede una gestione prudenziale nell'ambito di nuove trasformazioni o interventi sul territorio.
Biodiversità, flora e fauna terrestre	Il contesto territoriale di riferimento presenta un livello di biodiversità complessivamente basso, condizionato dalla forte antropizzazione e dalla frammentazione degli habitat dovute alla lunga presenza di insediamenti produttivi, infrastrutture e superfici agricole intensive. L'area di progetto si colloca prevalentemente in ambiti industriali e commerciali, con porzioni residuali occupate da seminativi irrigui e non irrigui, ambienti a bassa naturalità e con limitata capacità di ospitare specie faunistiche specializzate. La vegetazione potenziale originaria risulta pressoché sostituita da specie ruderali e pioniere, tipiche dei margini disturbati e delle superfici artificializzate. Pur trovandosi in prossimità di due siti appartenenti alla Rete Natura 2000, l'area di progetto ne è sufficientemente distante da non generare impatti diretti o interferenze significative sulle componenti ecologiche tutelate. La mancanza di elementi naturali di connessione e la continuità di aree antropizzate interposte riducono sensibilmente la possibilità di interazioni ecologiche dirette con i siti protetti, limitando il ruolo dell'area a quello di zona di margine a bassa funzionalità ecologica. Nel complesso, la baseline evidenzia un ambiente semplificato, frammentato e poco diversificato, con una biodiversità ridotta e limitata capacità di risposta a nuove pressioni. Tali considerazioni giustificano la classificazione della componente "Biodiversità terrestre" come a **sensibilità bassa**, pur raccomandando il mantenimento di buone pratiche gestionali atte a evitare effetti indiretti sulle aree di maggiore valore naturalistico circostanti.
Biodiversità, flora e fauna marina	Il contesto marino di riferimento evidenzia condizioni ecologiche compromesse, risultato di pressioni antropiche persistenti legate a decenni di attività portuali, industriali e di traffico marittimo intenso. Tali fattori hanno determinato nel tempo una progressiva alterazione della qualità ambientale delle acque costiere e dei

Componente Ambientale di Valore (VEC)	Descrizione status quo (baseline)
	sedimenti, con effetti cumulativi sulla struttura e sul funzionamento dell'ecosistema marino. Le analisi biologiche e trofiche mostrano una fauna bentonica in stato di qualità "scarso", caratterizzata da comunità impoverite, a bassa diversità specifica e dominate da specie opportuniste, indicatori tipici di stress ecologico prolungato o contaminazione dei sedimenti. La biomassa fitoplanctonica risulta elevata, come evidenziato dalle alte concentrazioni di clorofilla-a, segnale di condizioni eutrofiche e di un arricchimento trofico anomalo delle acque. Nel complesso, la baseline descrive un ambiente costiero fortemente condizionato da fattori di stress cronico, dove la qualità dei sedimenti e delle acque risulta degradata e la funzionalità ecologica complessiva ridotta. Le alterazioni fisiche del fondale, la presenza di contaminanti persistenti e la limitata capacità di autodepurazione determinano una vulnerabilità elevata del sistema marino rispetto a ulteriori pressioni o variazioni ambientali. Alla luce di tali elementi, la componente "Ecosistema marino e costiero" è stata classificata a **sensibilità alta**, poiché rappresenta un ambiente già compromesso e con scarsa resilienza, la cui stabilità ecologica potrebbe essere ulteriormente messa a rischio da nuovi carichi o modifiche delle condizioni fisico-chimiche locali.
Paesaggio	Il contesto paesaggistico di riferimento è caratterizzato da una marcata impronta industriale e infrastrutturale, con ampia prevalenza di superfici artificiali e insediamenti produttivi che definiscono un paesaggio fortemente trasformato e di limitato valore percettivo e naturalistico. L'area di progetto ricade in un ambito urbanisticamente classificato come zona D – "Aree destinate ad attività produttive", coerente con un tessuto funzionale orientato alla produzione e privo di elementi di naturalità o ruralità di rilievo. Il sito specifico, un *brownfield* industriale dismesso, risulta già urbanizzato e compromesso dal punto di vista paesaggistico, essendo stato in passato sede di attività manifatturiere. Esso non presenta pertanto connotazioni estetiche o ambientali di pregio, ma costituisce un ambito potenzialmente idoneo a interventi di riqualificazione e recupero senza alterare ulteriormente la percezione complessiva del paesaggio. Nel complesso, la baseline descrive un paesaggio industriale consolidato, di valore percettivo medio-basso, ma inserito in un contesto territoriale con elementi culturali e scientifici sensibili, che richiedono attenzione progettuale e misure di mitigazione mirate. In base a tali considerazioni, la componente "Paesaggio" è classificata come a **sensibilità medio-bassa**, in quanto poco vulnerabile sotto il profilo percettivo e visivo, ma inserita in un ambito territoriale con presenze di valore storico-culturale da tutelare e valorizzare.

Fonte: rielaborazioni dati ERM

4.2 DEFINIZIONE DELLO SCREENING BUFFER

Il passaggio successivo all'identificazione delle VEC consiste nella definizione dello *screening buffer*, ossia dell'estensione spazio-temporale entro la quale verranno analizzati gli impatti cumulativi. Tale screening buffer deve essere stabilito in funzione delle caratteristiche specifiche di ogni VEC, tenendo conto sia della portata e durata delle pressioni indotte dal progetto, sia della sensibilità e capacità di risposta del ricettore ambientale.

Per quanto riguarda la definizione del buffer temporale, si consulta il cronoprogramma del progetto di industria pesante, il quale prevede la seguente sequenza di fasi:

- 2026: dismissione e smantellamento delle strutture esistenti;
- 2027–2029: fase di costruzione delle nuove opere;
- 2030–2070: fase di esercizio dell'impianto (circa 40 anni);
- 2070–2072: dismissione finale e messa in sicurezza del sito.

Il buffer temporale definito per ciascuna VEC è stato pertanto impostato in relazione al grado e alla durata dell'interferenza che ciascuna fase progettuale può esercitare sul ricettore considerato. Esso copre l'intero ciclo di vita del progetto, estendendosi dalla fase iniziale di cantiere (2026) fino alla dismissione definitiva (2072).

Il buffer spaziale invece viene definito per ogni VEC in base alle proprietà intrinseche del sistema ambientale e alle peculiarità del contesto territoriale in cui si inserisce.

La tabella seguente fornisce una sintesi dei buffer spazio-temporali individuati per ciascuna VEC.

Tabella 9 Definizione dello screening buffer

VEC	Buffer spaziale	Buffer temporale
Qualità dell'aria	Buffer di **12,5 km** intorno all'area di progetto. Per i tratti stradali lineari si adotta un buffer di **200 m** per lato.	2026 – 2072
Qualità delle acque superficiali	Buffer di **2 km**. Tale buffer copre la rete idrografica superficiale situata nell'area di progetto.	2026 – 2072
Inquinamento acustico (rumore)	Buffer di **2 km** attorno all'area di progetto, al fine di garantire la copertura di tutti i ricettori sensibili (abitazioni, aree residenziali e centri abitati).	2026 – 2072
Contaminazione del suolo	Buffer di **2 km**.	2026 – 2072
Biodiversità, flora e fauna terrestre	Buffer di **2 km**.	2026 – 2072

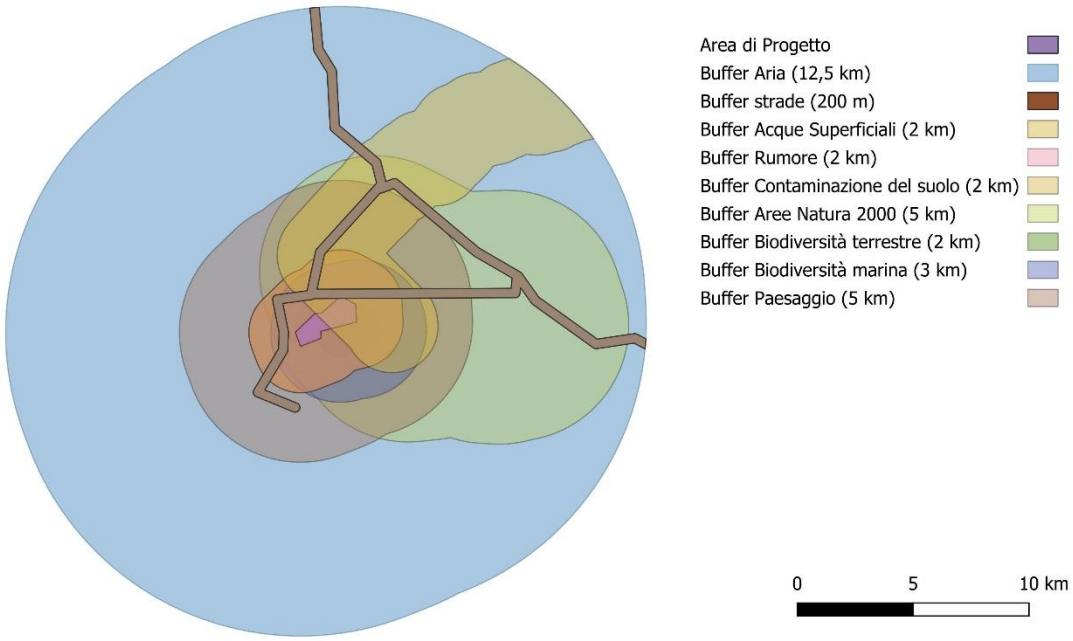
VEC	Buffer spaziale	Buffer temporale
	Per quanto riguarda la presenza di aree protette, poiché non sono presenti Siti di Importanza Comunitaria (SIC) entro un raggio di 10 km, si ritiene sufficiente un buffer di **5 km** intorno all'impronta del progetto.	
Biodiversità, flora e fauna marina	Raggio di **3 km** dai punti di presa, scarico e rilascio.	2026 – 2072
Paesaggio	Buffer di **5 km** intorno all'impronta del Progetto. Si considera un'altezza massima delle infrastrutture del progetto pari a 40 m.	2026 – 2072

Fonte: autore

L'individuazione dei buffer spaziali è stata condotta con il supporto di strumenti GIS, che hanno consentito di rappresentare, analizzare e delimitare su base cartografica le aree oggetto di valutazione per ciascuna componente ambientale di valore.

La figura seguente riporta una rappresentazione sintetica dei buffer spaziali individuati, predisposta senza cartografia di base né indicazione del Nord geografico, in conformità alle politiche aziendali di riservatezza e tutela dei dati territoriali adottate per il presente studio. Tale rappresentazione ha finalità illustrative e metodologiche, finalizzate a evidenziare la logica di definizione e la distribuzione relativa dei buffer rispetto alle diverse VEC considerate.

Figura 9 Buffer spaziali delle Componenti Ambientali di Valore



Fonte: autore

4.3 RICOGNIZIONE PRELIMINARE DEI PROGETTI POTENZIALMENTE RILEVANTI

In questa fase viene elaborata una *long list* dei progetti potenzialmente rilevanti ai fini dell'analisi degli effetti cumulativi. Tale attività assume un carattere esaustivo e inclusivo, comprendendo tutti i progetti passati, presenti e ragionevolmente prevedibili che ricadono all'interno dell'area di studio e che potrebbero, anche in via indiretta, interferire o generare effetti cumulativi con il progetto oggetto di valutazione. Successivamente, vengono condotte analisi di *screening* di secondo livello, finalizzate a filtrare le interazioni effettivamente significative attraverso un processo di selezione progressiva che consente di ottimizzare i tempi e le risorse analitiche, indirizzando l'approfondimento tecnico e ambientale esclusivamente verso i progetti con una concreta potenzialità di cumulo rispetto al progetto in esame.

In conformità con le politiche aziendali di *disclosure* e riservatezza, non è possibile riportare i nomi effettivi dei progetti considerati. È pertanto adottata una nomenclatura anonima (ad esempio, "Progetto A", "Progetto B", ecc.). Per ciascun progetto vengono specificati la tipologia di intervento, lo stato di avanzamento, nonché la collocazione spaziale e temporale rispetto al progetto principale.

Tabella 10 Long list di progetti potenzialmente rilevanti

ID	Tipologia progettuale	Stato di Avanzamento	Ubicazione spaziale	Riferimenti temporali
A	Impianto agrivoltaico (15 MW)	VIA approvata (2023)	302 m dal perimetro progettuale	Inizio lavori novembre 2025. Periodo di vita del progetto: 30 anni.
B	Parco eolico offshore 30 MW costituito da 10 aerogeneratori da 3 MW ciascuno	VIA approvata (2024)	3,40 km dal perimetro progettuale	Inizio lavori: marzo 2026. Periodo di vita del progetto: 25 anni.
C	Stabilimento chimico per produzione di resine industriali	Esistente dal 1992	7,24 km dal perimetro progettuale	Periodo di vita del progetto: 35 anni.
D	Impianto di cogenerazione a gas naturale a servizio di un'area produttiva	Esistente dal 2009	2,73 km dal perimetro progettuale	Periodo di vita del progetto: 30 anni.

ID	Tipologia progettuale	Stato di Avanzamento	Ubicazione spaziale	Riferimenti temporali
E	Raffineria secondaria per trattamento di oli esausti e solventi	Esistente dal 2001	14,69 km dal perimetro progettuale	Periodo di vita del progetto: 30 anni.
F	Parco fotovoltaico da 15 MW	VIA approvata (2025)	6,96 km dal perimetro progettuale	Inizio lavori: Maggio 2026 Periodo di vita del progetto: 30 anni.
G	Centrale termica per teleriscaldamento urbano e industriale	In redazione VIA	Circa 5 km dal perimetro progettuale. Perimetro non disponibile, solo generica localizzazione.	La VIA è attualmente in redazione, si ipotizza che i lavori possano cominciare dal 2027. Periodo di vita del progetto: 30 anni.
H	Impianto di trattamento di acque industriali	Esistente dal 2005	3,17 km dal perimetro progettuale	Periodo di vita del progetto: 25 anni.
I	Deposito carburanti e lubrificanti	Esistente dal 1995	13,50 km dal perimetro progettuale	Periodo di vita del progetto: 40 anni.
L	Centro intermodale merci	Esistente dal 2001	9,39 km dal perimetro progettuale	Periodo di vita del progetto: 40 anni.
M	Impianto di trattamento rifiuti industriali (capacità: 50.000 t/anno)	Esistente dal 2001	5,14 km dal perimetro progettuale	Periodo di vita del progetto: 25 anni.
N	Officina meccanica pesante per componenti navali e ferroviari	Esistente dal 1989	3,04 km dal perimetro progettuale	Periodo di vita del progetto: 40 anni.
O	Impianto di betonaggio e prefabbricati in calcestruzzo	Esistente dal 2015	3,20 km dal perimetro progettuale	Periodo di vita del progetto: 25 anni.

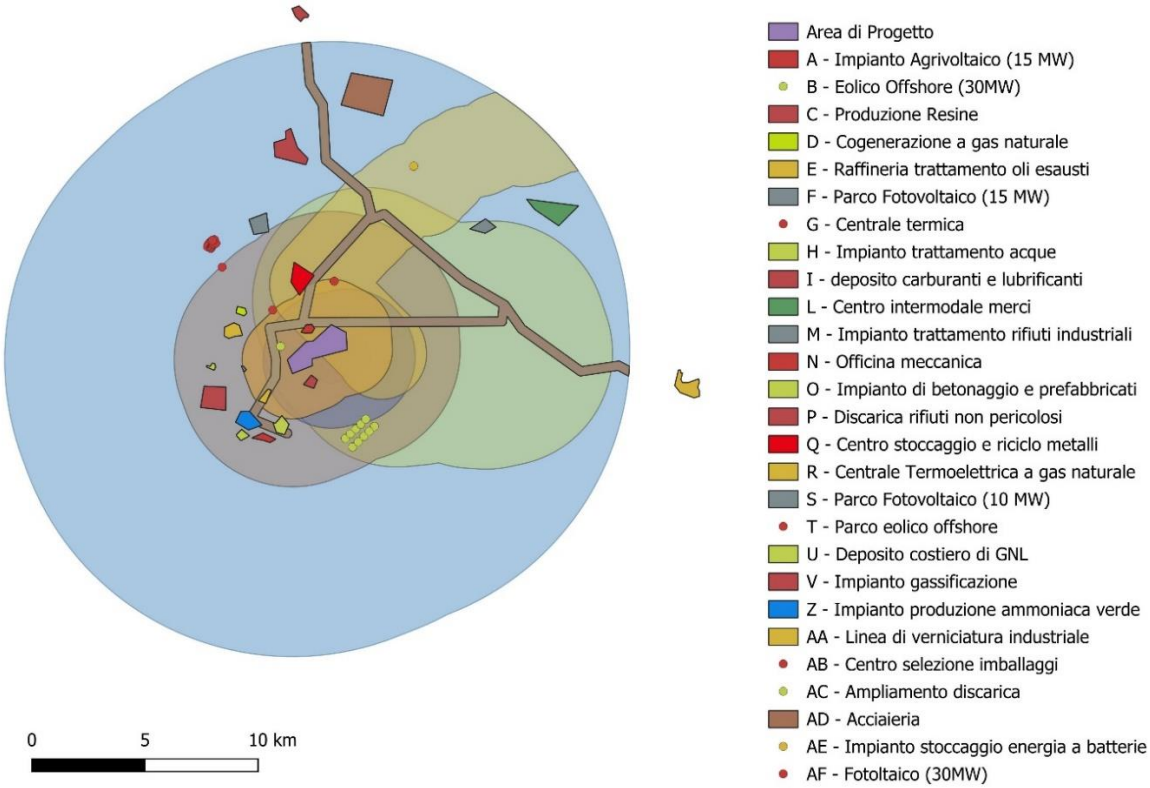
ID	Tipologia progettuale	Stato di Avanzamento	Ubicazione spaziale	Riferimenti temporali
P	Discarica per rifiuti non pericolosi in fase di post-gestione	Esistente dal 2020	3,70 km dal perimetro progettuale	Periodo di vita del progetto: 35 anni.
Q	Centro di stoccaggio e riciclo metalli ferrosi e non ferrosi	Esistente dal 2016	2 km dal perimetro progettuale	Periodo di vita del progetto: 25 anni.
R	Centrale termoelettrica a gas naturale	Esistente dal 2015	2,26 km dal perimetro progettuale	Periodo di vita del progetto: 35 anni.
S	Parco fotovoltaico da 10 MW	Esistente dal 2022	1,85 km dal perimetro progettuale	Periodo di vita del progetto: 30 anni.
T	Parco eolico offshore a servizio di area industriale	Esistente dal 2023	5,91 km dal perimetro progettuale	Periodo di vita del progetto: 25 anni.
U	Nuovo deposito costiero di GNL da 100.000 m^3	VIA approvata (2023)	2,16 km dal perimetro progettuale	Inizio lavori: Maggio 2025. Periodo di vita del progetto: 40 anni.
V	Impianto di gassificazione rifiuti plastici non riciclabili, 25 MW	VIA approvata (2024)	355 m dal perimetro progettuale	Inizio lavori: Febbraio 2026 Periodo di vita del progetto: 25 anni.
Z	Impianto di produzione di ammoniaca verde con elettrolizzatori da 40 MW	VIA approvata (2023)	Circa 3 km dal perimetro progettuale	Inizio lavori: Ottobre 2025. Periodo di vita del progetto: 25 anni.
AA	Nuova linea di verniciatura industriale con abbattimento VOC	VIA approvata (2024)	1,26 km dal perimetro progettuale	Inizio lavori: 2025 Periodo di vita del progetto: 20 anni.
AB	Centro di selezione automatizzata imballaggi misti	Annunciato / in verifica	Circa 2 km dal perimetro progettuale.	Non è ancora stata redatta la VIA, si

ID	Tipologia progettuale	Stato di Avanzamento	Ubicazione spaziale	Riferimenti temporali
			Localizzazione precisa non ancora disponibile.	ipotizza quindi un inizio lavori per il 2029. Periodo di vita del progetto: 25 anni.
AC	Ampliamento discarica	Procedimento archiviato (progetto respinto)	Meno di 1 km dal perimetro progettuale.	Periodo di vita del progetto: 30 anni.
AD	Acciaieria	VIA approvata (2023)	8,70 km dal perimetro progettuale	Inizio lavori: marzo 2026 Periodo di vita del progetto: 40 anni.
AE	Impianto di stoccaggio energia a batterie (BESS)	In redazione VIA	Circa 8 km dal perimetro progettuale. Localizzazione precisa non ancora disponibile.	VIA in redazione, si ipotizza i lavori possano cominciare nel 2027. Periodo di vita del progetto: 20 anni.
AF	Parco fotovoltaico su cave dismesse (30MW)	Proposta preliminare	Circa 2 km dal perimetro progettuale. Localizzazione precisa non ancora disponibile.	La VIA non è ancora stata redatta, si ipotizza un inizio lavori nel 2029. Periodo di vita del progetto: 30 anni.

Fonte: autore

Al fine di garantire un'analisi spaziale coerente, accurata e metodologicamente solida, i perimetri progettuali dei progetti inclusi nella *long list* sono stati individuati e delimitati mediante l'impiego di strumenti GIS, come illustrato nella figura seguente.

Figura 10 Individuazione spaziale dei progetti potenzialmente rilevanti



Fonte: autore

4.4 APPLICAZIONE DEI FILTRI

La *long list* dei progetti potenzialmente rilevanti viene successivamente sottoposta a un processo di filtraggio, finalizzato a concentrare gli sforzi analitici esclusivamente sui progetti che possono effettivamente generare effetti cumulativi con il progetto in esame. Tale processo si articola in tre principali criteri di selezione: (i) il filtro relativo allo stato di avanzamento dei progetti, (ii) il filtro relativo alla collocazione spaziale, e (iii) il filtro di natura temporale.

4.4.1.1 FILTRO SULLO STATO DI AVANZAMENTO

L'applicazione del filtro relativo allo stato di avanzamento prevede l'esclusione dall'analisi dei procedimenti bocciati o archiviati, in quanto non più attivi né rilevanti ai fini della valutazione degli effetti cumulativi. Nel caso di studio in esame, tale condizione riguarda unicamente il **Progetto AC – "Ampliamento discarica"**, il cui procedimento è stato archiviato a seguito di esito negativo.

Di conseguenza, il progetto è stato rimosso dal set dei progetti considerati nelle successive fasi di analisi.

4.4.1.2 FILTRO SPAZIALE

L'analisi spaziale è stata condotta in ambiente GIS, attraverso una valutazione visiva delle sovrapposizioni tra le aree di influenza dei progetti e i buffer associati alle diverse componenti di valore. Per ciascuna VEC, è stato attivato e disattivato il relativo buffer, al fine di osservare i progetti inclusi o

esclusi dall'area di analisi. Questo approccio ha permesso di individuare in modo sistematico le effettive interferenze spaziali tra i progetti della *long list* e le componenti ambientali considerate.

A titolo esemplificativo, si consideri il **Progetto B – "Impianto eolico offshore da 30 MW"**: la sua estensione spaziale è stata confrontata visivamente con i buffer di ciascuna VEC. Come illustrato nella figura seguente, il progetto risulta esterno al buffer spaziale della componente ambientale "contaminazione del suolo"; di conseguenza, esso è stato escluso dai progetti che contribuiscono al cumulo su tale VEC. Il medesimo procedimento di confronto visivo è stato applicato a tutti i progetti e per ciascuna componente ambientale.

Figura 11 Esempio di analisi spaziale

Fonte: autore

L'analisi spaziale condotta sull'insieme delle VEC e su tutti i progetti inclusi nella *long list* ha restituito i seguenti risultati (Figura 14).

Figura 12 Output filtro spaziale

VEC	A	B	C	D	F	G	H	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Z	AA	AB	AD	AE	AF
Qualità aria																								
Qualità delle acque superficiali																								
Rumore																								
Contaminazione e uso del suolo																								
Biodiversità, flora e fauna terrestre																								
Biodiversità, flora e fauna marina																								
Paesaggio																								

Legenda: *Fuori dal buffer spaziale*

Fonte: autore

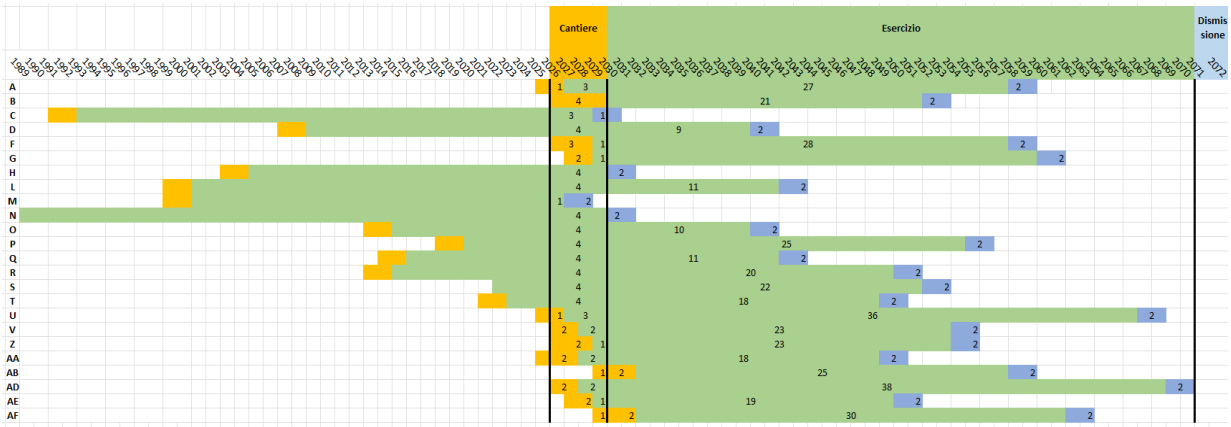
Nell'immagine, tutte le celle colorate in giallo indicano che il relativo progetto risulta esterno al buffer spaziale della VEC riportato nella riga corrispondente. Di conseguenza, per tali combinazioni progetto–VEC non sarà necessario procedere con l'analisi degli impatti cumulativi, in quanto non si configura alcuna sovrapposizione spaziale tale da poter generare interazioni ambientali significative.

4.4.1.3 FILTRO TEMPORALE

Il filtro temporale consente di individuare le fasi progettuali nelle quali il progetto in esame e ciascun progetto potenzialmente interferente si sovrappongono, determinando così la possibilità di generare effetti cumulativi.

L'analisi temporale è stata condotta mediante la compilazione di una *timeline*, come illustrato nella figura seguente, nella quale per ciascun progetto sono stati individuati il cronoprogramma di cantiere, esercizio e dismissione, al fine di determinare con precisione gli orizzonti temporali di sovrapposizione con le diverse fasi del progetto in esame.

Figura 13 Timeline



Fonte: autore

Nel caso di studio considerato, si è ipotizzato che la fase di dismissione sia assimilabile alla fase di cantiere, in quanto caratterizzata da analoga estensione spaziale, intensità delle attività e natura degli impatti generati.

L'analisi della *timeline* è stata effettuata mediante la compilazione di una matrice temporale, nella quale, per ciascun progetto e per ogni fase progettuale, sono stati riportati gli anni di sovrapposizione tra le fasi di cantiere ed esercizio dei progetti coinvolti e le rispettive fasi di cantiere ed esercizio del progetto soggetto a CEA.

L'output dell'analisi temporale è sintetizzato nella tabella mostrata in Figura 16. I valori individuati rappresentano i pesi temporali associati a ciascuna combinazione di sovrapposizione e verranno utilizzati nella successiva fase di valutazione degli impatti cumulativi. Essi corrispondono ai parametri di proporzionalità introdotti nella sezione 3.7.4, indicati come $w_{k,c}$ e $w_{k,e}$, e si ricavano mediante un semplice conteggio degli anni di sovrapposizione delle diverse fasi progettuali a partire dalla *timeline* di progetto.

Figura 14 Output filtro temporale

VEC	A		B		C		D		F		G		H		L		M		N		O		P		Q		R		S		T		U		V		Z		AA		AB		AD		AE		AF	
Fase Progettuale	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E
Anni di sovrapposizione con il cantiere del Progetto caso studio	1	3	4	0	1	3	0	4	3	1	2	1	0	4	0	4	2	1	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	1	3	2	2	2	1	2	2	1	0	2	2	2	1	1	0
Anni di sovrapposizione con l'esercizio del Progetto caso studio	2	27	2	21	0	0	2	9	2	28	2	30	2	1	2	11	0	0	0	0	2	10	2	25	2	11	2	20	2	22	2	18	2	36	2	23	2	23	2	18	4	25	2	38	2	19	3	30

Fonte: autore

4.5 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI CUMULATIVI

4.5.1 IDENTIFICAZIONE DEGLI INDICATORI

Per ciascuna componente ambientale di valore è necessario individuare un set di indicatori rappresentativi del livello di impatto che agisce su di essa.

La tabella seguente riporta gli indicatori selezionati per ciascuna VEC oggetto di analisi, accompagnati dalla relativa descrizione e motivazione della scelta.

Il calcolo degli indicatori è stato effettuato facendo riferimento ai dati disponibili presso la centralina di monitoraggio più prossima all'area di progetto.

Tabella 11 Identificazione degli indicatori

VEC	Indicatori	Significato dell'indicatore
Qualità dell'aria	**PM_{10}** – Particolato atmosferico inalabile: media aritmetica annuale delle concentrazioni giornaliere di PM_{10} ($\mu g/m^3$).	Il PM_{10} rappresenta la frazione di particolato con diametro aerodinamico inferiore o uguale a 10 micrometri (µm). È costituito da polveri solide e liquide sospese in atmosfera, derivanti da processi di combustione, usura dei freni e pneumatici, movimentazione di materiali, traffico e attività portuali. Si tratta di un inquinante primario (emesso direttamente) o secondario (formato in atmosfera da precursori gassosi). Ha effetti significativi sulla salute respiratoria, sulla visibilità e sulla deposizione di inquinanti al suolo.
	$PM_{2.5}$ – Particolato fine: media aritmetica annuale delle concentrazioni giornaliere di $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$).	Il $PM_{2.5}$ è la frazione più fine del particolato atmosferico (diametro ≤ 2,5 µm). Penetra più profondamente nel sistema respiratorio e ha quindi effetti sanitari più gravi, essendo

VEC	Indicatori	Significato dell'indicatore
		associato a patologie cardiovascolari e respiratorie croniche. È spesso di origine secondaria, risultante da reazioni chimiche tra ossidi di azoto (NO_x) e anidride solforosa (SO_2).
	NO_2 – Biossido di azoto: • media aritmetica annuale delle concentrazioni giornaliere (µg/m³); • valore massimo orario (µg/m³).	Il biossido di azoto (NO_2) è un gas tossico di origine principalmente combustiva (traffico, motori navali, impianti industriali). È un precursore dell'ozono e dei nitrati secondari, contribuisce alla formazione di particolato secondario e ha effetti irritativi sulle vie respiratorie.
	O_3 – Ozono troposferico: media mobile oraria su una finestra di 8 ore (si considera il massimo giornaliero) (mg/m³).	L'ozono troposferico (O_3) è un inquinante secondario, formato da reazioni fotochimiche tra ossidi di azoto (NO_x) e composti organici volatili (COV) in presenza di luce solare. È particolarmente rilevante durante la stagione estiva e nelle aree costiere, come quella dell'area in esame, dove la radiazione solare e le brezze marine favoriscono la sua formazione.
	CO – Monossido di carbonio: media mobile calcolata su una finestra di 8 ore (mg/m³).	Il monossido di carbonio (CO) è un gas incolore e inodore prodotto da combustioni incomplete (motori a benzina o diesel, attività portuali, impianti termici). È altamente tossico poiché si lega all'emoglobina formando carbossiemoglobina (COHb), riducendo la capacità del sangue di trasportare ossigeno ai tessuti.
	SO_2 – Anidride solforosa: • media aritmetica giornaliera delle concentrazioni di SO_2 (µg/m³); • valore massimo orario (µg/m³).	L'anidride solforosa (SO_2) è un gas irritante, prodotto dalla combustione di carburanti contenenti zolfo. È precursore delle piogge acide e può causare irritazione delle vie respiratorie e danni alla vegetazione.
	BaP - Benzo[a]pirene: media aritmetica annuale della concentrazione di BaP associato al particolato (ng/m³).	Il benzo[a]pirene (BaP) è un idrocarburo policiclico aromatico (IPA) derivante da combustioni incomplete (traffico, legna, carbone, cokerie). È considerato un indicatore

VEC	Indicatori	Significato dell'indicatore
		della presenza complessiva di IPA nell'aria, data la sua elevata tossicità e cancerogenicità.
Qualità delle acque	**Variazione di temperatura**: differenza media annua o stagionale rispetto a un periodo di riferimento.	Indica variazioni climatiche o alterazioni termiche dovute a pressioni o modifiche dell'ambiente e influenza la solubilità dell'ossigeno e i processi biologici.
	DO – **Ossigeno Disciolto**: concentrazione media di ossigeno presente in acqua (mg/L).	Misura la capacità dell'ambiente acquatico di sostenere la vita; valori bassi indicano inquinamento organico. È indice della capacità auto depurativa del corso d'acqua. Viene calcolato rispetto a un valore di saturazione funzione di pressione e temperatura.
	BOD_5 – **Domanda biochimica di ossigeno a 5 giorni**: quantità di ossigeno (mg/L) consumata dai microrganismi per decomporre la sostanza organica in 5 giorni a 20 °C.	Indica il grado di inquinamento organico biodegradabile nelle acque.
	COD – **Domanda chimica di ossigeno**: quantità di ossigeno necessaria per ossidare chimicamente la materia organica e inorganica (mg/L).	Fornisce una stima della sostanza organica totale (biodegradabile e non) presente in acqua.
	SST – Solidi sospesi totali: quantità di particelle solide presenti in sospensione (mg/L).	Indica torbidità e presenza di materiali solidi che influenzano la qualità delle acque.
	pH: misura dell'acidità o basicità delle acque.	Parametro fondamentale per gli equilibri chimici e biologici negli ecosistemi acquatici.
	Azoto totale (N): somma delle forme organiche e inorganiche di azoto (mg/L).	Indica il potenziale di eutrofizzazione dei corpi idrici attraverso la quantificazione della presenza complessiva di nutrienti azotati.
	Fosforo totale (P): somma delle forme di fosforo disciolto e particolato (mg/L).	Parametro chiave per la valutazione del rischio di eutrofizzazione: il fosforo, infatti, è il nutriente limitante per la crescita algale.

VEC	Indicatori	Significato dell'indicatore
	Mercurio (Hg): concentrazione di mercurio totale disciolto (µg/L).	Metallo pesante altamente tossico e bioaccumulabile; indicatore di contaminazione chimica.
Inquinamento acustico	**LAeq,diurno [dB(A)]**: livello sonoro equivalente continuo ponderato "A", misurato nel periodo diurno (generalmente 06:00–22:00). È calcolato come media energetica dei livelli di pressione sonora variabili nel tempo.	Rappresenta l'esposizione media al rumore durante le ore diurne, valutando l'impatto acustico sulle attività umane e sulla qualità della vita.
	LAeq,notturno [dB(A)]: livello sonoro equivalente continuo ponderato "A", misurato nel periodo notturno (generalmente 22:00–06:00).	Indica l'esposizione al rumore durante le ore di riposo; valori elevati sono associati a disturbo del sonno e impatti sulla salute. È il parametro più critico per la tutela del riposo.
Contaminazione del Suolo	**Concentrazione di sostanze contaminanti nel suolo (CSC):** concentrazione di contaminanti in mg per ogni kg di sostanza secca (mg/kg).	Misura la quantità di contaminanti presenti nel suolo, espressa in milligrammi di sostanza inquinante per chilogrammo di suolo secco (mg/kg). Rappresenta un indicatore diretto dello stato di qualità del suolo e del potenziale rischio di contaminazione per gli ecosistemi e la salute umana.
	C < 12 / C > 12 (Idrocarburi leggeri e pesanti): concentrazioni di idrocarburi totali con meno o più di 12 atomi di carbonio (mg/kg).	Differenzia la presenza di contaminanti petroliferi leggeri (benzine) e pesanti (oli minerali).
	pH: valore medio misurato nel suolo.	Indica acidità o basicità; influenza mobilità e biodisponibilità dei contaminanti.
	Metalli pesanti (Arsenico - As, Cromo - Cr, Nichel - Ni, Rame - Cu, Zinco - Zn, Mercurio - Hg, Piombo - Pb, Cadmio - Cd), concentrazione di metalli pesanti in mg/kg.	Presenza di elementi tossici o bioaccumulabili.
	VOC (Composti Organici Volatili): concentrazione di benzene, toluene e xileni (mg/kg).	Composti organici volatili derivanti da solventi e carburanti; indicano contaminazione organica di origine antropica.

VEC	Indicatori	Significato dell'indicatore
	IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici): concentrazione totale (mg/kg).	Composti cancerogeni derivanti da combustioni incomplete; marcatori di inquinamento da traffico e attività industriali.
	Policlorobifenili (PCB): concentrazione totale (mg/kg)	Composti organoclorurati di origine industriale, persistenti e bioaccumulabili.
Biodiversità, Flora e Fauna terrestre	**Indice di perdita di habitat naturale (IPH)**: rapporto tra la superficie di habitat naturale sottratta o degradata e la superficie totale di habitat presente nell'area di studio (%).	Misura la perdita diretta o indiretta di ecosistemi naturali a seguito delle trasformazioni territoriali.
	Indice di perdita di copertura vegetale (IPCV): rapporto tra la superficie vegetata compromessa e la superficie vegetata totale (%).	Valuta la riduzione della copertura vegetale naturale o seminaturale, utile per stimare l'impatto sulla biodiversità vegetale e sulla stabilità ecosistemica.
	Indice di prossimità ad aree tutelate (IPA): misura la distanza minima tra il perimetro del progetto e le aree soggette a tutela ambientale	Indica il grado di potenziale interferenza spaziale con zone di elevato valore ecologico.
	Indice di interferenza faunistica (IIF): rappresenta una stima della probabilità che il progetto possa interferire con le aree di alimentazione, riproduzione o migrazione della fauna selvatica.	Riflette il rischio di alterazione delle dinamiche ecologiche e comportamentali delle specie presenti.
	Indice di specie sensibili presenti (ISS): indica il numero di specie protette o a rischio presenti all'interno o in prossimità dell'area di progetto.	Costituisce un indicatore del livello di valore e vulnerabilità ecologica dell'area.
	Indice di disturbo (ID): quantifica il livello di disturbo complessivo (acustico, luminoso e antropico) generato dal progetto rispetto al contesto ambientale di riferimento.	Esprime il grado di alterazione delle condizioni di naturalità e tranquillità dell'ambiente circostante.

VEC	Indicatori	Significato dell'indicatore
Biodiversità, Flora e Fauna marina	**IMH – Indice di perdita di habitat marino:** misura la percentuale di fondale naturale o di biocenosi bentoniche (ad esempio *Posidonia oceanica*, coralligeno, sabbie, ecc.) interessate dagli interventi progettuali.	Fornisce una stima diretta della perdita o alterazione di habitat di pregio ecologico.
	IBP – Indice di biodiversità bentonica: valuta la ricchezza tassonomica e la presenza di specie sensibili nei sedimenti marini.	Indicatore della qualità ecologica del benthos e dello stato di salute dell'ecosistema di fondo.
	IAF – Indice di impatto sulla fauna ittica: rappresenta una stima qualitativa del disturbo arrecato dal progetto alla fauna marina.	Indicatore funzione del rumore e delle vibrazioni, misura le alterazioni degli habitat.
	IND – Indice di disturbo acustico subacqueo: quantifica il livello di pressione acustica subacquea (SPL) generato dal progetto.	Indicatore dei livelli di rumore subacqueo.
	ITQ – Indice di torbidità e qualità dell'acqua: misura la variazione della torbidità (espressa in NTU) o della concentrazione di solidi sospesi totali (TSS, mg/L) rispetto ai valori di riferimento.	Indica il grado di alterazione della qualità delle acque in relazione alle attività di cantiere o operative.
Paesaggio	**IVP - Indice di visibilità paesaggistica**	Valuta quanto l'impianto è visibile da punti panoramici, strade, aree tutelate.
	ICP – Indice di coerenza paesaggistica	Misura quanto il progetto si armonizza con forme, colori, materiali e morfologia del paesaggio esistente.
	IVD – Indice di disturbo visivo e luminoso	Tiene conto di riflessi, luci notturne, altezza strutture, movimenti meccanici.

Fonte: autore

Tali indicatori sono stati calcolati per tutti i progetti potenzialmente cumulativi rispetto alla componente ambientale di valore in esame. In particolare, il calcolo è stato differenziato tra la fase di

cantiere e la fase di esercizio del progetto, al fine di cogliere le specificità degli impatti associati a ciascuna fase del ciclo di vita dell'intervento.

A questo stadio dell'analisi, si dispone pertanto di una matrice di progetti per ciascuna VEC, a ciascuno dei quali risultano associati i valori dei rispettivi indicatori per entrambe le fasi considerate (cantiere ed esercizio), costituendo così la base informativa per la successiva valutazione degli impatti cumulativi.

4.5.2 CONFRONTO NORMALIZZATO CON LE SOGLIE

Per ciascun indicatore è stata individuata una soglia di riferimento, rispetto alla quale è stato eseguito un confronto normalizzato, in conformità con le indicazioni metodologiche riportate nel Capitolo 3.7 del presente elaborato. Tale confronto è stato condotto per ogni VEC e per ciascun progetto, mantenendo la distinzione tra fase di cantiere e fase di esercizio, al fine di garantire una valutazione coerente con la natura e la durata degli impatti associati a ciascuna fase progettuale.

Di seguito (Tabella 12) sono riportate le soglie di riferimento adottate per l'esecuzione del confronto normalizzato. Per gli indicatori di natura qualitativa non sono state associate soglie di riferimento, in quanto tali indicatori esprimono intrinsecamente la natura e l'intensità dell'impatto. Essi rappresentano dunque una valutazione diretta della gravità degli effetti potenziali, rendendo superflua la definizione di valori soglia di confronto.

Tabella 12 Identificazione delle soglie

Indicatore	**Soglia**	**Riferimento normativo**
Concentrazione media annua di PM_{10}	40 µg/m³	D.Lgs. 155/2010
Concentrazione media annua di $PM_{2.5}$	25 µg/m³	D.Lgs. 155/2010
Concentrazione media annua di NO_2	40 µg/m³	D.Lgs. 155/2010
Concentrazione oraria di NO_2	200 µg/m³ (1h)	D.Lgs. 155/2010
Media mobile su 8 ore di O_3	120 µg/m³	D.Lgs. 155/2010
Media mobile su 8 ore di CO	10 mg/m³	D.Lgs. 155/2010
Media aritmetica giornaliera delle concentrazioni di SO_2	125 µg/m³	D.Lgs. 155/2010
Valore massimo orario di SO_2	350 µg/m³ (1h)	D.Lgs. 155/2010
Concentrazione media annua di BaP nel PM_{10}	1 ng/m³	D.Lgs. 155/2010

Indicatore	Soglia	Riferimento normativo
Temperatura	ΔT ≤ 3 °C rispetto al naturale	D.Lgs. 152/2006, All. 1, Parte III
Ossigeno disciolto (DO)	≥ 7 mg/L	D.M. 260/2010, All. 1, Tab. 1/A
BOD_5 (Domanda Biochimica di Ossigeno a 5 giorni)	≤ 5 mg/L	D.M. 260/2010, All. 1, Tab. 1/A
COD (Domanda Chimica di Ossigeno)	≤ 25 mg/L	D.M. 260/2010
Solidi sospesi totali (SST)	≤ 25 mg/L	D.M. 260/2010
pH	6,0 – 9,0	D.Lgs. 152/2006
Azoto totale (N)	≤ 2 mg/L	D.M. 260/2010, All. 1, Tab. 1/A
Fosforo totale (P)	≤ 0,1 mg/L	D.M. 260/2010, All. 1, Tab. 1/A
Mercurio (Hg)	≤ 0,05 µg/L	D.Lgs. 152/2006, All. 1/A, Parte III
LAeq,diurno – Livello continuo equivalente ponderato A (periodo diurno)	Classe VI: 70 dB(A)	D.P.C.M. 14/11/1997, Tab. C
LAeq,notturno – Livello continuo equivalente ponderato A (periodo notturno)	Classe VI: 70 dB(A)	D.P.C.M. 14/11/1997, Tab. C
Concentrazione di sostanze contaminanti nel suolo (CSC)	Pb ≤ 1.000 mg/kg; Cd ≤ 15 mg/kg; Cr(VI) ≤ 800 mg/kg; Ni ≤ 500 mg/kg; Cu ≤ 600 mg/kg; Zn ≤ 1.500 mg/kg	D.Lgs. 152/2006, All. 5, Titolo V, Parte IV (agg. D.M. 46/2019)
Idrocarburi C<12 e C>12	C<12 ≤ 50 mg/kg; C>12 ≤ 100 mg/kg	D.Lgs. 152/2006, All. 5, Tab. 1, Col. B
pH del suolo	5,5 – 8,5 (intervallo di stabilità chimica)	Linee guida ISPRA; UNI 10523

Indicatore	Soglia	Riferimento normativo
Metalli pesanti (As, Cr, Ni, Cu, Zn, Hg, Pb, Cd)	As ≤ 50 mg/kg; Hg ≤ 5 mg/kg;	D.Lgs. 152/2006, All. 5, Tab. 1, Col. B
Composti organici volatili (VOC)	Benzene ≤ 2 mg/kg; Toluene ≤ 50 mg/kg; Xileni ≤ 50 mg/kg	D.Lgs. 152/2006, All. 5, Tab. 1, Col. B
Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	IPA totali ≤ 10 mg/kg	D.Lgs. 152/2006, All. 5, Tab. 1, Col. B
Policlorobifenili (PCB)	PCB totali ≤ 1 mg/kg	D.Lgs. 152/2006, All. 5, Tab. 1, Col. B

Fonte: autore

4.5.3 AGGREGAZIONE INDICATORI

A seguito del confronto normalizzato con la soglia di riferimento, per ciascun indicatore è stato ottenuto un indice normalizzato compreso tra 0 e 1, dove il valore 0 rappresenta l'assenza di impatto significativo, mentre il valore 1 corrisponde al raggiungimento o superamento della soglia. Il confronto è stato effettuato utilizzando le formule disponibili al capitolo 3.7.4.

A seguito dell'aggregazione, sono disponibili due indici normalizzati per ogni progetto *k* rispettivamente per la fase di cantiere e per la fase di esercizio, indicati come $I_{k,c}$e $I_{k,e}$. Tali indici rappresentano il livello di impatto normalizzato del progetto in relazione alla specifica fase progettuale di riferimento.

4.5.4 AGGREGAZIONE DEI PROGETTI

A questo punto, l'obiettivo è quello di ottenere un indice aggregato finale per ciascuna fase progettuale (cantiere ed esercizio), in grado di rappresentare in modo sintetico l'impatto cumulativo complessivo sulla componente ambientale di valore considerata.

In primo luogo, si procede al calcolo del parametro S^*, che esprime il contributo complessivo al cumulo derivante dai progetti che interferiscono con il progetto in esame. Tale parametro è determinato mediante l'applicazione della seguente formula, già presentata nella sezione metodologica al paragrafo 3.7.4:

$$S^* = \sum_K \left(\frac{w_{k,c}}{d_f} * I_{k,c} + \frac{w_{e,k}}{d_f} * I_{k,e} \right)$$

Per il calcolo di S^* è necessario individuare i coefficienti di proporzionalità temporale $w_{k,c}$ e $w_{k,e}$ relativi a ciascun progetto k.

Tali coefficienti vengono determinati sulla base della timeline precedentemente elaborata, conteggiando:

- il numero di anni in cui la fase di cantiere/esercizio del progetto k si sovrappone con la fase di cantiere del progetto in esame (cantiere-cantiere; esercizio-cantiere);
- Il numero di anni in cui la fase di cantiere/esercizio del progetto k si sovrappone con la fase di esercizio del progetto in esame (cantiere-esercizio; esercizio-esercizio);

Tali informazioni saranno utilizzate per il calcolo dell'indice cumulativo finale relativo alla fase di cantiere, avente una durata pari a d_f = 4 anni, e per il calcolo dell'indice cumulativo finale relativo alla fase di esercizio, la cui durata è pari a d_f= 40 anni.

Di seguito sono riportati i valori di S^* ottenuti per ciascuna componente ambientale di valore, distinti in funzione delle due fasi progettuali considerate.

Tabella 13 Calcolo di S^*

VEC	**Fase progettuale**	**S^***
Qualità dell'aria	Cantiere	9,633
	Esercizio	5,583
Qualità delle acque superficiali	Cantiere	1,695
	Esercizio	0,926
Inquinamento acustico	Cantiere	4,686
	Esercizio	3,617
Contaminazione del suolo	Cantiere	0,622
	Esercizio	0,495
Biodiversità, Flora e Fauna terrestre	Cantiere	3,075
	Esercizio	2,303
Biodiversità, Flora e Fauna marina	Cantiere	0,796
	Esercizio	0,248
Paesaggio	Cantiere	4,686
	Esercizio	3,617

Fonte: autore

Come descritto nella sezione metodologica 3.7, il cumulo degli effetti derivanti dai progetti interferenti segue un andamento di tipo esponenziale, che ha origine dal valore di fondo I_{CEA}^{f}, rappresentativo dell'impatto del progetto oggetto di valutazione cumulativa, e tende progressivamente a saturare al valore unitario con l'aumentare del grado di sovrapposizione e interazione con altri progetti.

Per ciascuna VEC vengono pertanto calcolati due indici cumulativi aggregati, rispettivamente riferiti alla fase di cantiere e alla fase di esercizio, secondo la seguente espressione:

$$I_{cum}^{f} = 1 - \left(1 - I_{CEA}^{f}\right) * \exp(-b_0 S^*)$$

Per l'applicazione della formula di calcolo dell'indice cumulativo, è necessario definire il valore del coefficiente di saturazione b_0 associato a ciascuna componente ambientale di valore. Tale coefficiente, come indicato in Tabella 7, è strettamente correlato allo stato di partenza della VEC. Pertanto, i valori di b_0 sono stati determinati sulla base delle condizioni di baseline delle diverse componenti ambientali, riorganizzate e rielaborate nel Capitolo 4.1 del presente elaborato. Di seguito si riporta una sintesi schematica delle condizioni iniziali delle VEC analizzate e dei corrispondenti valori del parametro b_0.

Tabella 14 Definizione di b_0

VEC	Baseline	$\mathbf{b_0}$
Qualità dell'aria	La componente ambientale "Qualità dell'aria" presenta una **sensibilità medio-bassa**, in quanto caratterizzata da condizioni qualitative complessivamente soddisfacenti e da una buona capacità di resilienza rispetto a potenziali incrementi emissivi.	0,015
Qualità delle acque superficiali	La componente "Acque superficiali e sotterranee" è stata classificata come a sensibilità **media**. Essa rappresenta un sistema ambientale generalmente stabile, ma potenzialmente suscettibile a incrementi di carico inquinante o ad alterazioni delle dinamiche idrologiche naturali.	0,025
Inquinamento acustico	La componente "Inquinamento acustico" è stata valutata in base allo stato iniziale del contesto ambientale, corrispondente a un ambiente industriale di tipo **medio**, con livelli sonori inferiori ai valori limite, sebbene prossimi alle soglie normative in alcune aree.	0,025
Contaminazione del suolo	La componente "Contaminazione del suolo" evidenzia superamenti multipli dei limiti di riferimento per metalli pesanti, idrocarburi e PCB, e la classificazione dell'area come sito contaminato di rilevanza nazionale indica una condizione di forte degrado ambientale e bassa resilienza. In tale contesto, anche interventi di entità limitata possono determinare un rapido incremento degli effetti cumulativi. Pertanto, la componente è	0,040

VEC	Baseline	$\mathbf{b_0}$
	stata classificata con **sensibilità alta**, coerente con un ambiente fragile e già compromesso.	
Biodiversità, flora e fauna terrestre	L'elevato grado di antropizzazione del territorio, la scarsità di habitat naturali residui e la prevalenza di superfici artificiali e agricole delineano un ambiente parzialmente degradato e resistente a ulteriori pressioni dirette. Tuttavia, la prossimità a due siti Natura 2000 suggerisce la possibilità di interferenze cumulative non trascurabili, in particolare in termini di frammentazione ecologica e disturbo faunistico. La componente è stata pertanto classificata a **sensibilità medio-bassa**, coerente con un contesto ecologicamente semplificato ma ancora connesso con aree di maggiore valore naturalistico.	0,015
Biodiversità, flora e fauna marina	La componente "Biodiversità, flora e fauna marina" presenta uno stato ecologico compromesso, come evidenziato dai valori biologici e trofici della baseline. La combinazione di una fauna bentonica in stato "scarso" e di elevata biomassa fitoplanctonica indica un ecosistema sbilanciato e stressato, con ridotta complessità biologica. Pertanto, la componente è stata classificata a **sensibilità alta**, coerente con un ambiente fragile e parzialmente degradato.	0,040
Paesaggio	Il paesaggio industriale esistente rappresenta un ambiente fortemente modificato, con bassa qualità percettiva di base e ridotta sensibilità visiva locale; ulteriori interventi industriali determinerebbero variazioni marginali rispetto alla condizione attuale. Tuttavia, la vicinanza di beni culturali e di un osservatorio astronomico introduce una vulnerabilità tematica specifica, legata soprattutto al rischio di incremento dell'inquinamento luminoso e percettivo. La componente è stata quindi classificata con **sensibilità media**, coerente con un paesaggio degradato ma soggetto a vincoli funzionali e percettivi.	0,025

Fonte: autore

4.6 ANALISI DI SENSITIVITÀ DEL METODO

Prima di procedere con la presentazione e l'analisi dei risultati, è stata condotta un'analisi di sensitività del metodo, finalizzata a valutare i casi estremi dell'analisi e la sensibilità degli impatti cumulativi al variare del coefficiente di saturazione b_0.

Tale analisi, di natura prettamente metodologica, ha lo scopo di verificare la robustezza e il comportamento del modello anche in condizioni limite. Per questo motivo, essa è stata applicata unicamente alla componente ambientale "*Qualità dell'aria*" nella fase progettuale di cantiere. Dal momento che le altre componenti ambientali presentano un comportamento analogo, differendo

unicamente per i valori di riferimento assunti, l'analisi di una sola VEC risulta sufficiente ai fini della validazione metodologica. Prima di procedere, si riportano i valori di input utilizzati per la componente "Qualità dell'aria":

$$I_{CEA}^{cantiere} = 0{,}337; \;\; b_0 = 0{,}015.$$

4.6.1 VALIDAZIONE DEI CASI ESTREMI

L'analisi di sensitività prevede la verifica dei casi limite del modello, al fine di accertarne la coerenza logica e il corretto comportamento matematico. I due casi estremi considerati sono:

- Assenza di altri progetti oltre al progetto in esame;
- Presenza di un numero "infinito" di progetti interferenti.

4.6.1.1 NESSUN PROGETTO

In questo scenario, non esistono altri progetti oltre a quello oggetto della CEA. Per simulare tale condizione, si annullano artificialmente tutti gli indicatori associati ai progetti interferenti, il che equivale a porre la sommatoria cumulativa $S^* = 0$.

Applicando la formula per il calcolo dell'indice cumulativo:

$$I_{cum}^{cantiere} = 1 - \left(1 - I_{CEA}^{cantiere}\right) * \exp(-b_0 S^*) = 1 - (1 - 0{,}337) * \exp(-0{,}015 * 0) = 0{,}337$$

Il valore calcolato dell'indice cumulativo in fase di cantiere risulta pertanto identico all'indice normalizzato aggregato del progetto in esame. Questo risultato è perfettamente coerente con le aspettative teoriche: in assenza di altri progetti interferenti, l'unico contributo all'impatto cumulativo proviene dal progetto principale, confermando la consistenza del modello nel caso limite inferiore.

4.6.1.2 INFINITI PROGETTI

Nel secondo scenario si assume l'esistenza di un numero molto elevato di progetti interferenti oltre al progetto in esame. Poiché un caso di "infiniti" progetti non è simulabile direttamente, è stato adottato un approccio approssimativo considerando 150 progetti aggiuntivi e i relativi indicatori, in modo da riprodurre un contesto di forte pressione cumulativa, corrispondente a un valore di S^* pari a $327{,}09$.

Applicando la formula:

$$I_{cum}^{cantiere} = 1 - \left(1 - I_{CEA}^{cantiere}\right) * \exp(-b_0 S^*) = 1 - (1 - 0{,}337) * \exp(-0{,}015 * 327.09) \cong 0.995$$

Il valore dell'indice cumulativo in fase di cantiere tende quindi verso 1, ossia verso la saturazione dell'impatto cumulativo. Questo comportamento conferma la correttezza del modello nei casi limite superiori.

4.6.2 SENSIBILITÀ AL VARIARE DI "b_0"

Il parametro b_0 rappresenta il coefficiente di saturazione, ovvero il fattore che determina la rapidità con cui l'indice cumulativo tende al valore unitario. Esso viene assegnato in funzione delle condizioni

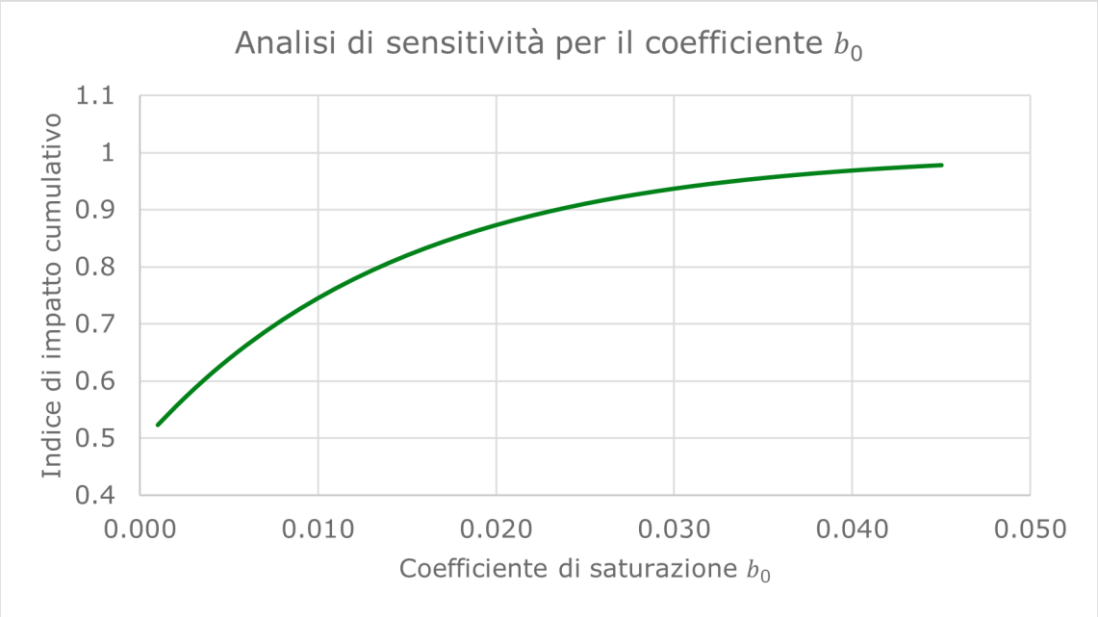
di *baseline* della componente ambientale, riflettendo la maggiore o minore sensibilità del sistema agli impatti cumulativi.

Per valutare l'effetto di tale parametro, è stata condotta un'analisi di sensitività in cui b_0 è stato fatto variare nell'intervallo [0,001 – 0,045], corrispondente ai valori estremi individuati dalla presente metodologia tra quelli attribuibili alle diverse componenti ambientali.

L'analisi è stata svolta mantenendo costanti i valori di $I_{CEA}^{cantiere}$ e di S^*, così da isolare l'effetto del solo parametro b_0.

Come mostrato nella figura seguente (Figura 17), l'indice di impatto cumulativo presenta un andamento monotono crescente, che tende progressivamente a saturare verso 1 all'aumentare del valore di b_0. Ciò conferma il ruolo di questo coefficiente nel modulare la sensibilità del modello e nel controllare la velocità di crescita dell'impatto cumulativo al crescere della pressione ambientale.

Figura 15 Analisi di sensitività per il coefficiente di saturazione



Fonte: autore

La curva riportata in figura è funzione sia del valore di base I_{CEA} sia della sommatoria cumulativa S^* assunti come fissati nell'analisi.

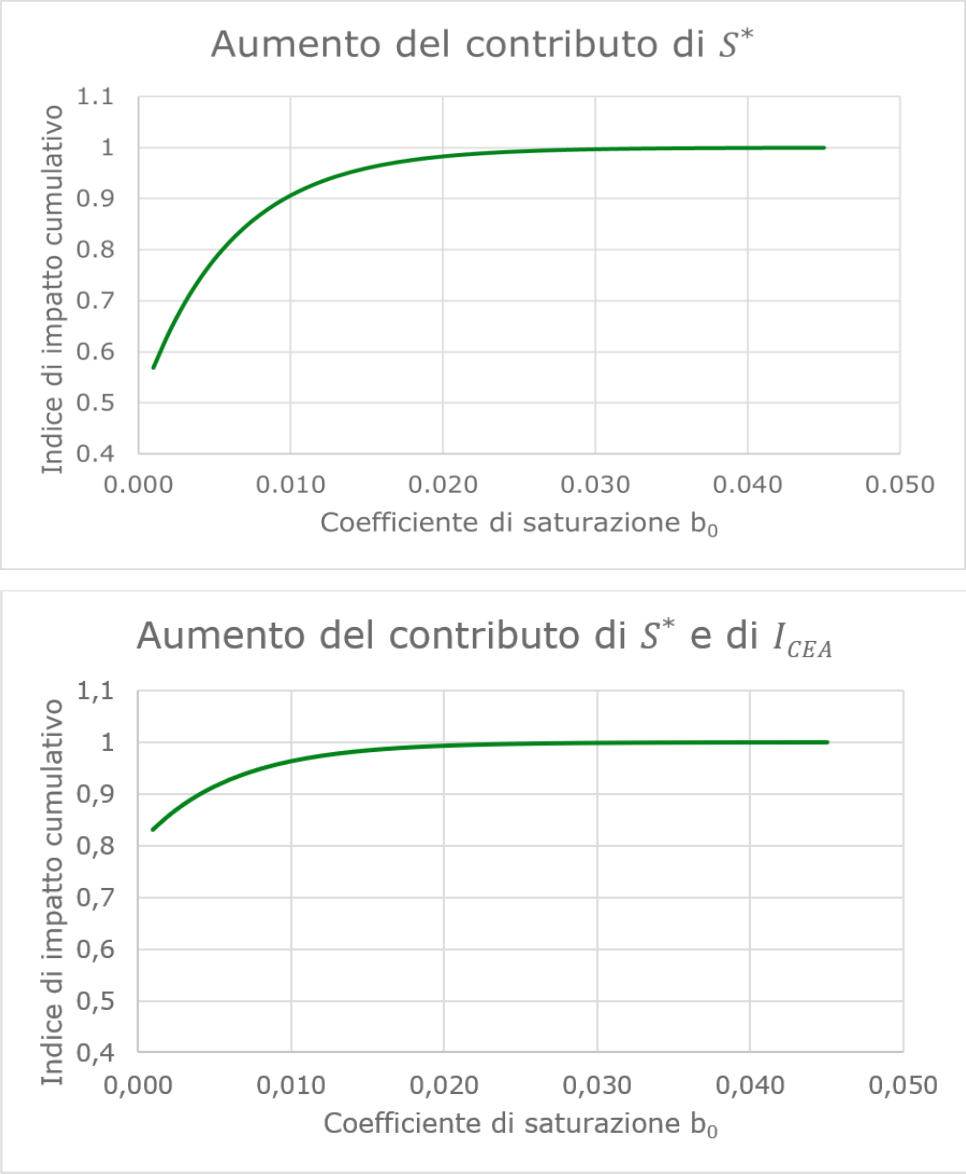
In particolare:

- al crescere di S^*(ossia al crescere del numero e/o dell'intensità dei progetti interferenti) la curva tende a saturare più rapidamente, in quanto il sistema è sottoposto a una pressione cumulativa maggiore;
- al crescere del valore di base I_{CEA}, ovvero dell'impatto del solo progetto in esame, il livello iniziale della curva risulta più elevato e, conseguentemente, si riduce il margine di crescita disponibile prima della saturazione.

In altri termini, un sistema già maggiormente compromesso in partenza o esposto a un cumulo più intenso raggiunge più rapidamente i livelli soglia dell'indice cumulativo.

Di seguito è riportata una rappresentazione visiva esplicativa di quanto descritto (Figura 18).

Figura 16 Variabilità in funzione di S^* e I_{CEA}



Fonte: autore

In sintesi, al crescere del coefficiente b_0, l'indice cumulativo tende a saturare in modo esponenziale verso 1, con un andamento più che lineare. Tuttavia, la velocità di saturazione dipende anche dal numero e dall'intensità dei progetti coinvolti (che influenzano S^*) e dall'impatto iniziale del progetto in esame (I_{CEA}), che determina il livello di partenza della curva.

4.7 ANALISI DEI RISULTATI OTTENUTI

Si riportano di seguito i risultati ottenuti dall'applicazione del metodo al caso di studio (Tabella 15). I valori sono presentati per ciascuna componente ambientale di valore, distinguendo tra la fase di cantiere e la fase di esercizio.

Tabella 15 Risultati

	Aria	**Acque Superficiali**	**Rumore**	**Suolo**	**Biodiversità, flora e fauna terrestre**	**Biodiversità, flora e fauna marina**	**Paesaggio**
b_0	0,015	0,025	0,025	0,040	0,015	0,040	0,025
$I_{CEA}^{CANTIERE}$	0,337	0,370	0,471	0,119	0,550	0,528	0,621
$\boldsymbol{I_{cum}^{CANTIERE}}$	**0,573**	**0,420**	**0,537**	**1,141**	**0,574**	**0,543**	**0,730**
$I_{CEA}^{ESERCIZIO}$	0,476	0,593	0,500	0,120	0,330	0,462	0,429
$\boldsymbol{I_{cum}^{ESERCIZIO}}$	**0,632**	**0,608**	**0,550**	**0,138**	**0,357**	**0,467**	**0,527**
N°Progetti cumulanti(*)	**24**	**4**	**8**	**7**	**7**	**1**	**20**

Fonte: autore

(*)Il numero di progetti cumulanti deve essere letto in relazione al numero di anni di sovrapposizione tra le diverse fasi progettuali.

La prima riga della tabella riporta il valore del coefficiente di saturazione b_0, mentre gli indici $I_{CEA}^{cantiere}$ e $I_{CEA}^{esercizio}$ rappresentano i valori normalizzati riferiti al progetto in esame oggetto della CEA. Gli indici $I_{cum}^{cantiere}$ e $I_{cum}^{esercizio}$ indicano invece i valori cumulativi finali, rispettivamente per la fase di cantiere e per la fase di esercizio.

Per quanto riguarda la **componente ambientale "Qualità dell'aria"**, si osserva uno scarto piuttosto contenuto tra l'indice associato al progetto in esame e l'indice cumulativo finale, nonostante la presenza di ben 24 progetti interferenti. Tale risultato è attribuibile principalmente al fatto che circa la metà di questi progetti presenta almeno una delle due fasi progettuali non cumulanti, per le quali i coefficienti $w_{k,f}$ assumono valore nullo, riducendo così il contributo complessivo nella sommatoria. Inoltre, la qualità dell'aria è caratterizzata da un coefficiente di saturazione relativamente basso ($b_0 = 0{,}015$), dovuto alle buone condizioni iniziali della VEC; di conseguenza, la progressione verso il valore di saturazione pari a 1 risulta rallentata. Alla luce di tali considerazioni, i risultati relativi a questa componente appaiono coerenti con il quadro di riferimento ambientale.

La **componente "Acque superficiali"** mostra uno scarto limitato tra l'indice di impatto del singolo progetto e l'indice cumulativo. Ciò è riconducibile al numero ridotto di progetti interferenti (soltanto quattro), dei quali circa la metà presenta almeno una fase progettuale non cumulante ($w_{k,f} = 0$).

Considerazioni analoghe possono essere formulate per la **componente "Rumore"**, che comprende otto progetti interferenti, quattro dei quali con almeno una fase progettuale a sovrapposizione temporale nulla. Sia per le acque superficiali sia per il rumore, il coefficiente di saturazione medio-basso ($b_0 = 0{,}025$) determina una crescita graduale dell'indice cumulativo verso il valore massimo, limitando quindi l'incremento complessivo dell'impatto.

La **componente "Contaminazione del suolo"** evidenzia invece uno scarto relativamente elevato tra l'indice del singolo progetto e quello cumulativo, nonostante il numero contenuto di progetti interferenti (sette, di cui quattro con almeno una fase non cumulante). Tale risultato è spiegabile con l'elevato coefficiente di saturazione, indicativo di una condizione di partenza già compromessa per la VEC in esame.

Per quanto concerne la **componente "Biodiversità – flora e fauna terrestre"**, lo scarto tra l'indice del progetto e l'indice cumulativo risulta contenuto, a causa del numero ridotto di progetti cumulanti, molti dei quali presentano almeno una fase progettuale non sovrapposta temporalmente. A ciò si aggiunge un coefficiente di saturazione basso, che limita la velocità di crescita verso la saturazione.

La **componente "Biodiversità – flora e fauna marina"** presenta un solo progetto interferente con quello in esame, il quale mostra peraltro una sovrapposizione temporale nulla per la combinazione cantiere-esercizio. Lo scarto minimo osservato risulta quindi giustificato, sebbene la VEC in questione presenti una condizione di partenza scarsa che determina un coefficiente di saturazione elevato e, di conseguenza, un effetto cumulativo comunque percepibile, pur in presenza di un solo progetto interferente.

Infine, la **componente "Paesaggio"** mostra uno scarto apprezzabile tra l'indice del progetto e quello cumulativo, coerente con l'elevato numero di progetti interferenti, sebbene caratterizzati da una ridotta sovrapposizione temporale. Lo scarto non risulta tuttavia elevato, poiché – analogamente alla componente "Qualità dell'aria" – il coefficiente di saturazione non è particolarmente alto, rallentando il raggiungimento della saturazione.

L'obiettivo della valutazione è quello di individuare misure di mitigazione appropriate, finalizzate a minimizzare gli impatti cumulativi derivanti dall'interazione del progetto con altri interventi presenti o ragionevolmente prevedibili nella stessa area e nello stesso orizzonte temporale.

A tal fine, è possibile condurre un'analisi retrospettiva finalizzata a individuare i fattori determinanti che causano l'avvicinamento dell'indice cumulativo normalizzato finale al valore di saturazione. Tale analisi non deve necessariamente essere estesa a tutte le componenti ambientali, ma deve concentrarsi su quelle caratterizzate da un impatto cumulativo elevato o critico, secondo il criterio di classificazione qualitativo riportato nella tabella seguente.

Tabella 16 Interpretazione dell'indice cumulativo

Indice cumulativo	Classe di impatto cumulativo	Interpretazione
0.00–0.25	Basso	Effetti trascurabili o entro la capacità di carico del VEC
0.26–0.50	Moderato	Effetti apprezzabili ma gestibili con mitigazioni ordinarie
0.51–0.75	Elevato	Effetti rilevanti, richiedono mitigazioni specifiche
0.76–1.00	Critico	Effetti cumulativi potenzialmente non accettabili

Fonte: autore

Analizzando i risultati secondo questa prospettiva, si ottiene una classificazione degli impatti cumulativi come riportato nella tabella seguente.

Tabella 17 Analisi dei risultati

	Aria	Acque Superficiali	Rumore	Suolo	Biodiversità, flora e fauna terrestre	Biodiversità, flora e fauna marina	Paesaggio
b_0	0,015	0,025	0,025	0,040	0,015	0,040	0,025
$I_{CEA}^{CANTIERE}$	0,337	0,370	0,471	0,119	0,550	0,528	0,621
$\boldsymbol{I_{cum}^{CANTIERE}}$	**0,573**	**0,420**	**0,537**	**1,141**	**0,574**	**0,543**	**0,730**
$I_{CEA}^{ESERCIZIO}$	0,476	0,593	0,500	0,120	0,330	0,462	0,429
$\boldsymbol{I_{cum}^{ESERCIZIO}}$	**0,632**	**0,608**	**0,550**	**0,138**	**0,357**	**0,467**	**0,527**
N°Progetti cumulanti(*)	**24**	**4**	**8**	**7**	**7**	**1**	**20**

Fonte: autore

(*)Il numero di progetti cumulanti deve essere letto in relazione al numero di anni di sovrapposizione tra le diverse fasi progettuali.

La maggior parte delle componenti ambientali, ad eccezione della componente "Contaminazione del suolo", risultano soggette a effetti cumulativi classificati come elevati o critici. Di conseguenza, si rende necessaria un'analisi mirata all'individuazione di idonee misure di mitigazione. Tali misure di mitigazione devono riferirsi esclusivamente al progetto in esame, oggetto della valutazione degli effetti

cumulativi, in quanto gli altri progetti interferenti non rientrano nell'ambito di gestione diretta dell'analista.

4.7.1 MISURE DI MITIGAZIONE

La tabella seguente riporta le principali misure di mitigazione proposte per la fase di cantiere e per la fase di esercizio, distinte in relazione a ciascuna componente ambientale di valore. Per ogni componente è inoltre fornita una stima della riduzione percentuale degli impatti conseguente all'applicazione delle misure individuate, al fine di quantificare l'efficacia attesa degli interventi di mitigazione. Tale riduzione percentuale è stata stimata attraverso un confronto tecnico con gli analisti del team *Capital Project Delivery* di *ERM Italia*, i quali, sulla base della propria esperienza professionale e di casi di studio analoghi, hanno fornito un supporto consulenziale per la definizione di valori realistici e coerenti con il contesto operativo del progetto.

Tabella 18 Misure di mitigazione

VEC	Fase progettuale	Misura di mitigazione proposta	Riduzione percentuale prevista
Qualità dell'aria	Cantiere	**Captazione e abbattimento delle polveri**: installazione di cappe di aspirazione nei punti di trasferimento dei materiali e utilizzo di filtri a maniche ad alta efficienza per la rimozione del particolato. **Gestione del trasporto materiali**: utilizzo di nastri trasportatori coperti per evitare la dispersione di polveri durante le operazioni di movimentazione. **Gestione della flotta interna**: promozione dell'elettrificazione o ibridazione dei mezzi, pianificazione di percorsi ottimizzati e applicazione di limiti di velocità. **Efficienza del cantiere**: impiego di mezzi di ultima generazione conformi agli standard emissivi più recenti (es. Euro VI), utilizzo di carburanti a basso tenore di zolfo e adozione di piani anti-idle, ossia procedure di spegnimento automatico o controllato dei motori durante le soste prolungate.	-30%
	Esercizio	**Captazione e abbattimento polveri**: analogo alla fase di cantiere. **Movimentazione e trasporto materiali**: analogo alla fase di cantiere. **Flotta e mezzi interni**: analogo alla fase di cantiere. **Gestione delle aree scoperte**: installazione di barriere frangivento, applicazione periodica di prodotti leganti	-30%

VEC	Fase progettuale	Misura di mitigazione proposta	Riduzione percentuale prevista
		(polimeri) sui cumuli più esposti e pavimentazione dei percorsi interni maggiormente utilizzati. **Ottimizzazione della combustione primaria**: utilizzo di bruciatori low-NOx, regolazione del rapporto aria/combustibile e controllo dell'eccesso d'aria per migliorare il rendimento e ridurre gli ossidi di azoto.	
Qualità delle acque superficiali	Esercizio	**Controllo ΔT (temperatura scarico):** massima ricircolazione dei circuiti; utilizzo di torri evaporative/adiabatiche ad alta efficienza (abbassano la temperatura dell'acqua prima del riuso); miscelazione/raffreddamento in vasca prima dello scarico finale. **Rimozione carico organico (DO, BOD_5, COD):** trattamento biologico aerobico con nitrificazione–denitrificazione; flottazione ad aria disciolta; ossidazione avanzata per degradare composti organici. **Rimozione solidi sospesi (SST):** sedimentazione secondaria (decantazione) seguita da filtri a sabbia o filtri a dischi per affinamento. **Correzione pH:** neutralizzazione in continuo con dosaggio automatico; uso di CO_2 o acido per correnti alcaline; controllo in linea del pH. **Controllo operativo e gestione:** separazione reflui "puliti/sporchi" per non sovraccaricare l'impianto; bilancio idrico periodico; monitoraggio on-line dei principali parametri (pH, ossigeno disciolto DO, temperatura, COD); gestione corretta dei reagenti e manutenzione predittiva delle apparecchiature.	-45%
Inquinamento acustico	Cantiere	**Pianificazione e gestione attività:** redazione del Piano di Gestione Acustica di Cantiere (fasce orarie e limiti conformi al DPCM 14/11/1997); limitazione delle lavorazioni rumorose alle ore diurne (07:00–19:00); scaglionamento temporale delle attività più impattanti per evitare la sovrapposizione di più sorgenti; programmazione di giornate "silenziose" nei periodi di monitoraggio o nei fine settimana. **Misure tecniche e impiantistiche:** utilizzo di macchine e mezzi conformi alle Direttive CE sulle emissioni acustiche	-25%

VEC	Fase progettuale	Misura di mitigazione proposta	Riduzione percentuale prevista
		(es. 2000/14/CE); manutenzione periodica di motori e silenziatori per mantenere le prestazioni acustiche; installazione di barriere temporanee fonoassorbenti intorno a sorgenti fisse; impiego di dispositivi antivibranti per generatori e pompe; riduzione del rumore dei trasporti interni tramite limite di velocità.	
	Esercizio	**Interventi strutturali e impiantistici:** insonorizzazione localizzata delle principali sorgenti; installazione di silenziatori su condotti e scarichi d'aria; realizzazione di barriere acustiche fisse lungo il perimetro verso i ricettori sensibili o tra aree rumorose e spazi esterni; applicazione di rivestimenti fonoassorbenti nei locali tecnici; utilizzo di supporti antivibranti per macchinari rotanti e motori; ottimizzazione della disposizione impiantistica con collocazione delle sorgenti più rumorose in zone centrali o schermate da edifici di servizio. **Gestione operativa e manutentiva:** manutenzione predittiva dei macchinari per mantenere costanti le prestazioni acustiche; limitazione delle attività rumorose straordinarie alle fasce diurne; monitoraggio acustico continuo tramite centraline in tempo reale del livello equivalente; gestione del traffico interno con pavimentazioni fonoassorbenti, divieto di sosta con motore acceso e utilizzo di mezzi elettrici per la logistica interna. **Misure gestionali e di controllo:** implementazione di un Sistema di Gestione Ambientale conforme alla ISO 14001 con indicatori specifici sul rumore; piano di comunicazione con la cittadinanza per la gestione delle segnalazioni di disturbo; revisione periodica delle mappature acustiche e aggiornamento dei modelli previsionali in caso di modifiche impiantistiche.	-30%

VEC	Fase progettuale	Misura di mitigazione proposta	Riduzione percentuale prevista
Biodiversità, Flora e Fauna terrestre	Cantiere	Delimitazione precisa dell'area di cantiere con recinzioni ecologiche per evitare l'occupazione accidentale di aree naturali vicine; conservazione e reimpianto di specie vegetali autoctone nelle aree non edificate o marginali; rimozione della vegetazione in periodi non riproduttivi per l'avifauna; recupero e riutilizzo del *topsoil* per interventi di rinverdimento e rinaturalizzazione post-cantiere. Realizzazione di fasce tampone vegetate tra il limite del progetto e le aree naturali sensibili; monitoraggio ambientale preventivo con sopralluoghi di tecnici faunistici e botanici per accertare l'assenza di specie di interesse conservazionistico o nidificazioni attive. Utilizzo di barriere fonoassorbenti temporanee e sistemi di illuminazione schermata o orientata verso il basso; allontanamento controllato della fauna prima dell'inizio dei lavori mediante dissuasori ottici o acustici non invasivi.	-40%
Biodiversità, Flora e Fauna marina	Cantiere	**Riduzione della perdita di habitat e della biodiversità bentonica:** progettazione delle opere marine e del tracciato in modo da minimizzare l'occupazione di fondali naturali e praterie di fanerogame; delimitazione precisa delle aree operative subacquee con boe e barriere galleggianti per evitare danni accidentali ai fondali; recupero e trapianto di fanerogame o macroalghe in aree idonee mediante tecniche di "*nursery transplant*" (coltivazione e reimpianto di esemplari prelevati localmente); rimozione controllata dei sedimenti con draghe a basso impatto dotate di sistemi di contenimento laterale per ridurre la dispersione di materiale. **Tutela della fauna ittica e riduzione del disturbo acustico:** limitazione delle attività rumorose evitando i periodi di riproduzione e migrazione delle specie ittiche; utilizzo di "*bubble curtain*" (barriere di bolle d'aria) per attenuare la propagazione del rumore subacqueo; impiego della tecnica del "*soft start*" (avvio graduale delle apparecchiature) per consentire all'ittiofauna di allontanarsi dall'area; monitoraggio acustico subacqueo continuo con sensori idrofoni per verificare i livelli di pressione sonora.	-35%

VEC	Fase progettuale	Misura di mitigazione proposta	Riduzione percentuale prevista
		Contenimento della torbidità e tutela della qualità delle acque: installazione di barriere anti-torbidità intorno alle aree di dragaggio o movimentazione dei fondali; pompaggio e rilascio controllato dei materiali dragati con sistemi di filtrazione e sedimentazione a terra; monitoraggio in tempo reale dei parametri fisico-chimici (torbidità, ossigeno disciolto, solidi sospesi); sospensione temporanea dei lavori in caso di superamento dei valori soglia ambientali.	
	Esercizio	**Tutela degli habitat e della biodiversità bentonica:** monitoraggio periodico dello stato dei fondali e delle comunità bentoniche (*organismi che vivono sul fondo marino*); verifica dell'integrità delle praterie di fanerogame e degli eventuali trapianti effettuati in fase di cantiere; manutenzione delle opere sommerse con tecniche a basso impatto (interventi puntuali, senza movimentazione diffusa dei sedimenti). **Tutela della fauna ittica e riduzione del disturbo acustico:** monitoraggio acustico subacqueo continuativo tramite sensori idrofoni per verificare eventuali variazioni nei livelli sonori; riduzione delle sorgenti di rumore continuo o impulsivo (pompe, eliche, flussi) mediante manutenzione programmata e schermature tecniche; adozione di sistemi di propulsione o movimentazione silenziosi; regolazione dei flussi operativi nelle ore di maggiore attività biologica (evitando le ore crepuscolari o i periodi di riproduzione). **Contenimento della torbidità e tutela della qualità delle acque:** controllo continuo della torbidità, dell'ossigeno disciolto e dei solidi sospesi per prevenire impatti sugli habitat sensibili; ispezioni periodiche delle strutture sommerse per individuare fenomeni di erosione o sedimentazione anomala; pianificazione di eventuali interventi di pulizia o manutenzione in condizioni meteomarine favorevoli e con sistemi a basso sollevamento di sedimenti.	-30%
Paesaggio	Cantiere	**Riduzione della visibilità e del disturbo visivo:** installazione di pannelli di schermatura o teli di colore neutro e non riflettente per delimitare visivamente il	-30%

VEC	Fase progettuale	Misura di mitigazione proposta	Riduzione percentuale prevista
		cantiere; mantenimento dell'ordine nell'area di lavoro con stoccaggio organizzato di materiali e attrezzature per evitare disordine visivo; limitazione dell'illuminazione notturna al minimo indispensabile mediante corpi illuminanti schermati e orientati verso il basso; conservazione temporanea della vegetazione preesistente come barriera naturale di mascheramento. **Coerenza paesaggistica:** utilizzo di materiali e colorazioni provvisorie compatibili con il contesto ambientale per ridurre il contrasto cromatico; riduzione delle volumetrie temporanee (gru, silos, container) e loro raggruppamento in aree dedicate per minimizzare la frammentazione visiva e l'impatto percettivo sul paesaggio costiero o marino.	
	Esercizio	**Mitigazione visiva permanente:** realizzazione di fasce verdi perimetrali alberate e arbustive con specie autoctone sempreverdi per schermare edifici e infrastrutture; rinverdimento di scarpate, argini e terrapieni mediante tecniche di ingegneria naturalistica; trattamento cromatico delle superfici esterne con tonalità neutre e coerenti con il paesaggio circostante; utilizzo di materiali a basso grado di riflessione luminosa per ridurre l'abbagliamento; progettazione di un impianto di illuminazione a basso impatto visivo con corpi illuminanti schermati, luce calda e accensione temporizzata. **Integrazione paesaggistica e coerenza (ICP):** collocazione e orientamento dell'impianto in coerenza con la morfologia e il disegno territoriale esistente, mantenendo la continuità visiva con eventuali ambiti industriali o infrastrutturali limitrofi; riqualificazione delle aree marginali tramite fasce tampone vegetate, aree umide artificiali o filari alberati per migliorare la transizione tra zona produttiva e paesaggio naturale.	-35%

Fonte: autore

4.7.2 RISULTATI A VALLE DELL'APPLICAZIONE DELLE MISURE DI MITIGAZIONE

Di seguito sono riportati i risultati relativi alla valutazione degli impatti cumulativi sulle diverse componenti ambientali, riferiti alle fasi di cantiere e di esercizio, successivamente all'applicazione delle misure di mitigazione previste.

Tabella 19 Risultati a seguito dell'applicazione delle misure di mitigazione

	Aria	**Acque Superficiali**	**Rumore**	**Suolo**	**Biodiversità, flora e fauna terrestre**	**Biodiversità, flora e fauna marina**	**Paesaggio**
b_0	0,015	0,025	0,025	0,040	0,015	0,040	0,025
$I_{CEA}^{CANTIERE}$	0,234	0,370	0,353	0,119	0,330	0,343	0,434
$\boldsymbol{I_{cum}^{CANTIERE}}$	**0,507**	**0,420**	**0,434**	**1,141**	**0,365**	**0,364**	**0,597**
$I_{CEA}^{ESERCIZIO}$	0,333	0,326	0,350	0,120	0,330	0,323	0,279
$\boldsymbol{I_{cum}^{ESERCIZIO}}$	**0,532**	**0,352**	**0,415**	**0,138**	**0,357**	**0,330**	**0,403**

Fonte: autore

Dalla tabella emerge un significativo miglioramento degli indici di impatto ambientale, con l'eliminazione pressoché completa degli elementi critici precedentemente individuati.

5. CONCLUSIONI

5.1 SCHEMA METODOLOGICO DELL'ELABORATO

Inquadramento teorico e normativo della CEA → Elaborazione di una **proposta metodologica**

Identificazione delle VEC ← Questionari e incontri con i portatori di interesse

Identificazione delle VEC ← Utilizzo di checklist per verifica di completezza

Identificazione delle VEC → Recupero delle informazioni di *baseline* (VIA) e definizione dello *screening buffer*

Recupero delle informazioni di *baseline* (VIA) e definizione dello *screening buffer* → Ricognizione preliminare dei progetti rilevanti

Ricognizione preliminare dei progetti rilevanti → Identificazione degli indicatori e confronto normalizzato con le relative soglie → indice aggregato [0;1]

Dataset di 200 elementi → Stima di b_0 (Minimi Quadrati)

Identificazione degli indicatori e confronto normalizzato con le relative soglie → indice aggregato [0;1] → $S^* = \sum_K \left(\frac{w_{k,c}}{d_f} * I_{k,c} + \frac{w_{k,e}}{d_f} * I_{k,e} + \frac{w_{k,d}}{d_f} * I_{k,d} \right)$

$$I_{cum}^f = 1 - \left(1 - I_{CEA}^f\right) * \exp(-b_0 S^*)$$

Stima di b_0 (Minimi Quadrati) → b_0

Sensibilità della componente ambientale	Range di b_0
Basso	0,001 – 0,016
Medio	0,017 – 0,030
Alto	0,031 – 0,045

S^* e b_0 → **Analisi di sensitività**

Applicazione al **caso studio**

5.2 ASPETTI POSITIVI DELLA METODOLOGIA PROPOSTA

La metodologia sviluppata nel presente lavoro rappresenta un contributo innovativo e di notevole valore operativo nell'ambito della valutazione degli impatti cumulativi, poiché introduce un approccio sistematico, coerente e replicabile che colma diverse lacune ancora presenti nella prassi nazionale e internazionale.

Un primo punto di forza risiede nella capacità del metodo di fornire una panoramica completa e strutturata del quadro normativo di riferimento, sia a livello nazionale che internazionale. Ciò costituisce un importante supporto per l'analista, che può così operare in modo pienamente conforme alle disposizioni vigenti, riducendo il rischio di incongruenze o mancanze di *compliance* con le richieste degli enti competenti.

Un secondo elemento distintivo è rappresentato dal fatto che la metodologia colma il *gap metodologico* tuttora esistente nella valutazione degli impatti cumulativi. Le linee guida oggi disponibili, infatti, si limitano a suggerire strumenti operativi generici — come matrici di interazione, analisi causa-effetto o criteri generici di analisi spazio-temporale — senza tuttavia fornire indicazioni precise su modalità, tempi e criteri di applicazione. Tale carenza genera approcci disomogenei, fortemente dipendenti dall'esperienza individuale del valutatore. La procedura qui proposta introduce invece un percorso chiaro, ripetibile e strutturato, riducendo la soggettività e garantendo coerenza tra diverse valutazioni.

Un ulteriore aspetto di rilievo è l'attenzione dedicata al coinvolgimento degli stakeholder. La metodologia riconosce che il successo di un progetto dipende anche dal consenso e dal sostegno delle comunità locali, delle istituzioni e dei portatori di interesse. In tal senso, vengono forniti strumenti operativi concreti — quali questionari e linee guida per l'organizzazione di panel partecipativi — che rendono il processo di partecipazione pubblica parte integrante dell'analisi ambientale, orientando le risorse verso gli aspetti realmente rilevanti per la pianificazione del territorio.

Di grande valore applicativo è anche l'analisi dei confini spaziali e temporali, che non solo supporta in modo concreto l'analisi degli impatti, ma consente anche di individuare l'alternativa progettuale ottimale sia in termini di localizzazione che di tempistiche di realizzazione. Attraverso parametri quantitativi di valutazione, l'analista può esplorare scenari diversi e valutare la collocazione spazio-temporale che minimizza gli effetti cumulativi, contribuendo a una pianificazione territoriale ottimale in un contesto multi-obiettivo.

Dal punto di vista analitico, il metodo introduce la normalizzazione degli indici di impatto su scala comune, rendendo i risultati facilmente interpretabili e comparabili tra loro. Questo approccio supera i problemi legati alle diverse unità di misura dei parametri e ai diversi metodi di calcolo e consente di ottenere un indice che esprime non tanto il valore assoluto dell'impatto, quanto il suo grado di accettabilità rispetto a una soglia di riferimento. In tal modo, l'analisi rimane costantemente ancorata ai criteri di valutazione stabiliti dalle linee guida, migliorandone la leggibilità e la trasparenza.

La formula di aggregazione dei progetti costituisce un ulteriore elemento innovativo della metodologia. Essa integra i principali risultati emersi dalla letteratura scientifica in materia di impatti cumulativi, considerando che gli effetti derivanti dal cumulo di più progetti non seguono una relazione lineare, ma

tendono ad amplificarsi reciprocamente. Contestualmente, viene introdotto il coefficiente di saturazione b_0, che tiene conto delle condizioni ambientali iniziali della componente ambientale di valore. Tale parametro consente di ponderare l'impatto in funzione del contesto di partenza e di valutare scenari alternativi, sia spaziali che temporali, fornendo all'analista uno strumento robusto per la valutazione delle alternative progettuali. In altre parole, la metodologia permette di simulare cosa accadrebbe se un progetto fosse realizzato in un'area differente o in un periodo diverso, tenendo conto della diversa capacità del sistema ambientale di assorbire le pressioni antropiche. Inoltre, l'introduzione della soglia di saturazione ambientale consente di rappresentare il livello oltre il quale la componente considerata non è più in grado di rigenerarsi o di rispondere efficacemente agli stress cumulativi, integrando così il concetto di limite ecologico di resilienza all'interno dell'analisi quantitativa.

Infine, la metodologia mostra una forte orientazione verso le misure di mitigazione. L'identificazione degli indicatori più impattanti, per ciascun progetto e per ciascuna fase, consente di risalire alle azioni specifiche che generano tali impatti, definendo strategie di mitigazione mirate e proporzionate. In tal modo, il metodo non si limita alla valutazione ex post, ma diviene uno strumento di pianificazione proattiva, capace di guidare le scelte di progetto e di gestione ambientale.

Nel complesso, la metodologia proposta non solo offre un quadro di riferimento operativo coerente e strutturato, ma si configura come uno strumento di supporto decisionale in grado di tradurre la complessità della valutazione degli impatti cumulativi in un processo analitico, trasparente e orientato alla sostenibilità. Al termine della sua applicazione, il consulente sarà in grado di fornire informazioni strategiche per la gestione del territorio, individuando le azioni maggiormente impattanti, gli indicatori più sensibili e le alternative progettuali in grado di minimizzare il cumulo degli effetti, integrando così la valutazione ambientale in un processo decisionale multicriteriale.

5.3 CRITICITÀ EVIDENZIATE NELLA METODOLOGIA PROPOSTA

Nonostante la solidità complessiva e la coerenza concettuale della metodologia sviluppata, è importante evidenziare alcuni aspetti critici e margini di miglioramento che emergono dall'analisi della sua applicazione pratica. Questi elementi non rappresentano difetti strutturali del metodo, ma piuttosto punti di attenzione che influenzano la qualità e l'affidabilità dei risultati, soprattutto in relazione alle scelte e alle assunzioni iniziali compiute dall'analista.

Un primo elemento di criticità riguarda la dipendenza dei risultati dalla definizione dei parametri di input, in particolare dalla selezione dei progetti potenzialmente rilevanti. In questa fase, l'analista deve individuare tutti i progetti che possono contribuire agli impatti cumulativi sullo stesso contesto territoriale. Tuttavia, una selezione incompleta o una ricerca non sufficientemente approfondita può comportare una sottostima significativa dell'impatto cumulativo complessivo, poiché l'analisi risulterebbe basata su un set di progetti parziale o lacunoso. Tale rischio è accentuato dal fatto che i portali informativi e le banche dati pubbliche disponibili per questo tipo di indagini sono spesso poco intuitivi, frammentari o incompleti, rendendo complessa l'individuazione dei progetti pertinenti. Per

ridurre questa criticità, si suggerisce di affiancare all'analisi documentale il consulto diretto con enti locali e autorità competenti.

Un secondo punto critico è legato alla scelta del set di indicatori utilizzati per rappresentare l'impatto sulle diverse componenti ambientali. Poiché il metodo prevede una certa flessibilità nella selezione degli indicatori, la loro scelta può influire sensibilmente sui risultati. Set di indicatori differenti portano, infatti, a risultati quantitativi differenti, con il rischio di sottostimare alcuni impatti. È pertanto fondamentale che la selezione degli indicatori sia il più possibile esaustiva e rappresentativa, includendo tutti quelli effettivamente in grado di descrivere le pressioni e le risposte delle componenti ambientali coinvolte.

Dal punto di vista analitico, un limite intrinseco alla normalizzazione su scala comune (0–1) consiste nel fatto che essa appiattisce le differenze tra superamenti di soglia di entità diversa. In altre parole, un lieve superamento della soglia e un superamento molto marcato vengono entrambi riportati al valore massimo "1", impedendo di cogliere la reale gravità delle situazioni più critiche. Ciò può comportare una perdita di sensibilità del modello nei casi di impatti particolarmente elevati o anomali.

Un'ulteriore fonte di incertezza è rappresentata dalla determinazione del coefficiente di saturazione b_0, che dipende strettamente dalla qualità dell'analisi di base condotta nella Valutazione di Impatto Ambientale. Una baseline incompleta o imprecisa può portare alla definizione errata di b_0, generando risultati distorti nella stima degli impatti cumulativi. Ne consegue che la robustezza del modello è fortemente condizionata dalla qualità dei dati di partenza, e in particolare dal livello di dettaglio e aggiornamento delle informazioni ambientali disponibili.

Altre incertezze riguardano la definizione dei buffer spaziali e temporali, ossia i limiti entro i quali vengono considerati i progetti interferenti. Tali parametri, sebbene essenziali, mantengono una componente qualitativa difficilmente quantificabile, poiché dipendono dalle condizioni sito-specifiche (morfologia, dinamiche ecologiche, scala temporale dei processi). In base alla loro estensione, possono cambiare sensibilmente sia il numero di progetti inclusi nell'analisi sia il valore finale dell'impatto cumulativo, portando a potenziali sovrastime o sottostime.

Dal punto di vista procedurale, la metodologia è costituita da una sequenza di step, ciascuno dei quali prevede assunzioni e semplificazioni operative. L'errore introdotto in una singola fase può propagarsi alle fasi successive, amplificando l'incertezza sul risultato finale. Ne consegue che, qualora vengano adottate ipotesi eccessivamente semplificative, il risultato complessivo potrebbe essere affetto da una componente di errore non trascurabile.

Un'ulteriore criticità emerge nella fase di definizione delle misure di mitigazione, dove è richiesta una stima della percentuale di riduzione dell'impatto a seguito dell'applicazione della misura. Tale stima, nella pratica, si basa sull'esperienza professionale dell'analista e presenta quindi un certo grado di soggettività. Una possibile soluzione consisterebbe nell'integrare questa fase con modelli di simulazione software, in grado di stimare quantitativamente l'efficacia delle misure, ma l'adozione di tali strumenti comporta costi economici e tempi di elaborazione elevati, che spesso ne limitano la praticabilità in contesti ordinari. Dunque, di fronte all'impossibilità di simulare mediante modello l'adozione delle misure di mitigazione, è buona prassi riferirsi ai BREF (*Best Available Techniques*

Reference Documents), ovvero documenti che descrivono le migliori tecniche disponibili, le prestazioni ambientali tipiche e i valori di emissione o riduzione attesi.

Infine, è opportuno ricordare che la formula di aggregazione progettuale adottata, pur essendo coerente con i principi teorici di riferimento, non rappresenta l'unica possibile formulazione matematica del fenomeno. È plausibile che altre funzioni di aggregazione, basate su differenti modelli di interazione tra progetti, possano condurre a risultati diversi pur mantenendo la stessa validità teorica. Tale aspetto riflette la natura ancora aperta e sperimentale del campo della valutazione degli impatti cumulativi, in cui la definizione di standard condivisi è tuttora in evoluzione.

In sintesi, questi elementi di criticità non compromettono la validità complessiva della metodologia, ma ne definiscono i limiti applicativi e le condizioni di affidabilità. La consapevolezza di tali limiti rappresenta, di fatto, un valore aggiunto, in quanto consente di applicare il metodo con maggiore rigore e di individuare con chiarezza le direzioni di miglioramento future.

5.4 SVILUPPI FUTURI DELLA RICERCA

L'analisi condotta ha permesso di elaborare una metodologia solida, coerente e replicabile per la valutazione degli impatti cumulativi. Tuttavia, proprio la sua natura dinamica e sperimentale apre la strada a numerosi sviluppi futuri, volti a perfezionare ulteriormente il metodo e ad ampliarne il campo di applicazione. Tra i principali ambiti di potenziale approfondimento si individuano l'integrazione dell'analisi dell'incertezza, l'estensione del modello alla componente sociale e la sperimentazione di differenti formule di aggregazione dei progetti.

Un primo e fondamentale sviluppo riguarda l'analisi dell'incertezza, un aspetto che nel presente lavoro non è stato affrontato in modo quantitativo a causa della limitata disponibilità di dati di base. Ogni misura e ogni valore utilizzato nel processo valutativo — dagli indicatori ambientali ai parametri di input — è inevitabilmente soggetto a una componente di incertezza, derivante da vari fattori: incertezza strumentale delle apparecchiature di monitoraggio, condizioni meteorologiche variabili, errori di campionamento o condizioni al contorno non perfettamente note. In un approccio teoricamente completo, tali elementi dovrebbero essere esplicitati e integrati nel calcolo finale, associando a ciascun indicatore non solo un valore puntuale, ma anche un intervallo di confidenza o una distribuzione di probabilità.

Tuttavia, un'analisi dell'incertezza di questo tipo richiede dati di dettaglio raramente disponibili e comporta un notevole incremento dello sforzo computazionale, temporale ed economico necessario per condurre la valutazione. Ciononostante, introdurre la rappresentazione esplicita dell'incertezza consentirebbe di comunicare i risultati in modo più trasparente e realistico, fornendo ai decisori non un valore unico, ma un intervallo di possibile variabilità e il grado di affidabilità associato. In tal senso, l'approccio proposto potrebbe evolvere in un modello probabilistico di supporto decisionale, capace di restituire non solo l'intensità dell'impatto, ma anche la fiducia con cui esso è stato stimato. Questo aspetto, oggi ancora poco sviluppato nelle valutazioni ambientali, rappresenta una frontiera di ricerca particolarmente promettente.

Un secondo sviluppo potenziale consiste nell'inclusione della componente sociale nel processo valutativo. Nel presente elaborato tale dimensione non è stata considerata in modo esplicito, poiché la metodologia è stata costruita intorno alla componente ambientale, che segue logiche differenti. Nelle valutazioni ambientali è infatti prassi comune — e metodologicamente prudente — adottare un approccio conservativo, trascurando gli effetti positivi eventualmente generati dal progetto, per evitare sovrastime della sostenibilità complessiva. Tuttavia, questa impostazione risulta limitante nel caso della componente sociale, dove ignorare gli impatti positivi equivarrebbe a fornire una rappresentazione parziale della realtà.

Si pensi, ad esempio, a un progetto nel settore delle energie rinnovabili: oltre a produrre impatti ambientali, può contribuire a un miglioramento del mix energetico nazionale, generare occupazione, aumentare il livello di istruzione tecnico-professionale e stimolare lo sviluppo economico locale. Includere tali benefici è dunque essenziale per una valutazione bilanciata.

Per raggiungere questo obiettivo, il modello potrebbe essere adattato introducendo una scala bidirezionale, in cui valori negativi rappresentino impatti positivi e valori positivi quelli negativi, superando la limitazione attuale della scala normalizzata 0–1. Tale estensione renderebbe possibile una valutazione integrata ambiente-società, più coerente con gli approcci di sostenibilità complessiva oggi promossi a livello internazionale.

Un terzo e ultimo ambito di sviluppo riguarda la sperimentazione di formule alternative di aggregazione per il calcolo degli impatti cumulativi. La formulazione esponenziale adottata nel presente lavoro ha il vantaggio di rappresentare efficacemente l'amplificazione non lineare degli effetti, ma non costituisce l'unica possibile modalità di rappresentazione. Sarebbe pertanto utile condurre analisi comparative utilizzando, ad esempio, modelli basati sulla produttoria, su funzioni logistiche o su funzioni di potenza, per verificare come la diversa struttura matematica incida sul risultato finale e sull'interpretazione dei processi di cumulo. Un confronto sistematico tra diversi schemi di aggregazione consentirebbe di individuare le condizioni in cui ciascun modello offre le prestazioni migliori, contribuendo alla definizione di standard metodologici più robusti e condivisi per la valutazione degli impatti cumulativi.

In sintesi, gli sviluppi futuri del presente lavoro non si limitano a un perfezionamento tecnico del metodo, ma mirano a un'evoluzione concettuale della valutazione ambientale, orientata alla trasparenza, alla multidimensionalità e alla piena integrazione tra dimensione ecologica, sociale e gestionale.

6. BIBLIOGRAFIA

- The Latent Potential of Cumulative Effects Concepts in National and International Environmental Impact Assessment Regimes di Rebecca Nelson e L. M. Shirley.
- Council on Environmental Quality (CEQ), *Considering Cumulative Effects Under the National Environmental Policy Act*, Washington D.C., Executive Office of the President of the United States, 1997.
- Jill Harriman Gunn & Bram F. Noble (2009). *"Integrating Cumulative Effects in Regional Strategic Environmental Assessment Frameworks: Lessons from Practice"*, *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, vol. 11(3), pp. 267-290.
- Graham Hegmann & G.A. (Tony) Yarranton (2011). *"Alchemy to Reason: Effective Use of Cumulative Effects Assessment in Resource Management"*, *Environmental Impact Assessment Review*, 31(5): 484-490.
- Blakley, J. & Russell, S. (2019). *Cumulative effects assessment: linking international principles to regional practice.* Environmental Impact Assessment Review, 75, 23–32.
- Blakley, J., & Russell, S. (2019). *Trends, issues and insights in cumulative effects assessment: A review of international academic literature 2008–2018*. IAIA Research Innovation Grant. International Association for Impact Assessment (IAIA).
- Bass, R. E., Herson, A. I., & Bogdan, K. M. (2001). *The NEPA Book: A Step-by-Step Guide on How to Comply with the National Environmental Policy Act.* Solano Press Books.
- McCold, L. N., & Holman, J. (1995). *Cumulative effects assessment: A practical framework for choosing the appropriate methodology.* In: *Proceedings of the 15th Annual Meeting of the International Association for Impact Assessment (IAIA)*, Durban, South Africa.
- Burris, R. K., & Canter, L. W. (1997). *Cumulative impacts are not properly addressed in environmental assessments. Environmental Impact Assessment Review*, 17(1), 5–18.
- Canter, L. W., & Kamath, J. (1995). *Questionnaire checklist for cumulative impacts*. *Environmental Impact Assessment Review*, 15(4), 311–339.
- Kamaras, I. (1993). *Cumulative environmental effects: The need for clear concepts and methods. Impact Assessment*, 11(1), 55–72.
- Foley, M. M., Mease, L. A., Martone, R. G., Prahler, E. E., Morrison, T. H., Murray, C. C., Wojcik, D., & O'Hagan, A. M. (2017) The challenges and opportunities of cumulative effects assessment in coastal and marine ecosystems *Environmental Impact Assessment Review*, 62, 122–134.
- Smythe, R., & Isber, J. (2003). *Cumulative effects assessment within the NEPA process: Guidance and practice. Environmental Practice*, 5(4), 278–288.
- Noble, B. F. (2010). *Introduction to Environmental Impact Assessment: A Guide to Principles and Practice* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Folkeson, L., Antonson, H., & Helldin, J. O. (2013). *Planners' views on cumulative effects: A focus-group study concerning transport infrastructure planning in Sweden.* Land Use Policy, 30(1), 243–253.
- *Performance Standard 1: Assessment and Management of Environmental and Social Risks and Impacts*.
- *Good Practice Handbook: Cumulative Impact Assessment and Management – Guidance for the Private Sector in Emerging Markets (2013).*
- Willsteed, E. A., Gill, A. B., Birchenough, S. N. R., & Jude, S. (2017). Assessing the cumulative environmental effects of marine renewable energy developments: Establishing common ground. *Science of the Total Environment*, 577, 19–32.

- Papadopoulou, K. N., Smith, C. J., Diliberto, S., & Karakassis, I. (2014). Cumulative impacts of human activities on the marine environment of the Aegean Sea: Spatial assessment and management implications. *Ocean & Coastal Management*, 102, 5–13.
- Ball, M. C., Noble, B. F., & Dubé, M. G. (2012). Valued ecosystem component assessment: A framework for identifying and evaluating the cumulative effects of multiple activities.
- Trafikverket (2011). *Handbook for cumulative effects assessment (Vägledning för kumulativ effektbedömning).* Swedish Transport Administration, Stockholm.
- Cooper, L. M. (2004). Guidelines for cumulative effects assessment in SEA of plans. *Environmental Impact Assessment Review*, 24(3), 373–382.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), *Cumulative Impacts Research: Recommendations for EPA's Office of Research and Development*, Washington D.C., EPA/600/R-22/014a, 2022.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA), *Consideration of cumulative impacts in EPA review of NEPA documents*, Office of Federal Activities, Washington D.C., EPA 315-R-99-002, 1999.
- European Commission, Directorate-General XI (Environment, Nuclear Safety and Civil Protection). (1999). *Guidelines for the assessment of indirect and cumulative impacts as well as impact interactions*. Prepared by Hyder Consulting Ltd, European Commission, DG XI, Brussels.
- World Bank, *World Bank Environmental and Social Framework*, Washington D.C., World Bank, 2016.
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, *Decreto 30 marzo 2015, n. 52 – Regolamento recante la disciplina delle modalità di funzionamento del Sistema informativo nazionale ambientale (SINAnet)*, pubblicato in G.U. n. 120 del 26 maggio 2015.
- Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), *FAQ – Webinar 1 del 3 marzo 2021*, documento informativo SNPA, Roma, 2021.
- Canadian Environmental Assessment Agency (CEAA). (1999). *Cumulative Effects Assessment Practitioners Guide*. Prepared by Hegmann, G., Cocklin, C., Creasey, R., Dupuis, S., Kennedy, A., Kingsley, L., Ross, W., Spaling, H., & Stalker, D. Ottawa, Ontario: Minister of Public Works and Government Services Canada.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). (2014). *Cumulative Effects Assessment (CEA) Framework*. Winnipeg, Manitoba: CCME.
- Noble, B. F. (2010). *Cumulative environmental effects and the tyranny of small decisions: Towards meaningful cumulative effects assessment and management*. *Environmental Management*, 45(1), 1–10.
- Smith, J. (2025). *Challenges in conducting CEA studies*. Presentation at the *Cumulative Effects Workshop (IAIA25)*, Bologna, Italy.
- Spaling, H., & Smit, B. (1993). *Cumulative environmental change: Conceptual frameworks, evaluation approaches, and institutional perspectives*. *Environmental Management*, 17(5), 587–600.
- Spaling, H., & Smit, B. (1995). *A conceptual model of cumulative environmental effects of agricultural land drainage*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 53(2), 99–108.
- Peterson, E. B., Smit, B., & Munn, R. E. (1987). *Cumulative effects assessment in Canada: From concept to practice*. Hull, Quebec: Canadian Environmental Assessment Research Council (CEARC).
- Sonntag, N. C., Everitt, R. R., Ledoux, L., Wight, P. A., Collings, C. D., & Holman, J. B. (1987). *Cumulative effects assessment: A context for further research and development*. Hull, Quebec: Canadian Environmental Assessment Research Council (CEARC).

- Hegmann, G., Cocklin, C., Creasey, R., Dupuis, S., Kennedy, A., Kingsley, L., Ross, W., Spaling, H., & Stalker, D. (1999). *Cumulative Effects Assessment Practitioners Guide*. Ottawa, Ontario: Canadian Environmental Assessment Agency.
- World Bank, *World Bank Environmental and Social Framework*, Washington D.C., World Bank, 2016.
- International Finance Corporation (IFC). (2013). *Good Practice Handbook: Cumulative Impact Assessment and Management – Guidance for the Private Sector in Emerging Markets*. Washington, D.C.: World Bank Group.
- Asian Development Bank (ADB), *Safeguard Policy Statement*, Manila, Asian Development Bank, 2009.
- Council of the European Communities. (1992). *Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora (Habitats Directive)*. *Official Journal of the European Communities*, L 206, 7–50.
- European Parliament and Council of the European Union. (2001). *Directive 2001/42/EC of 27 June 2001 on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment (SEA Directive)*. *Official Journal of the European Communities*, L 197, 30–37.
- European Parliament and Council of the European Union. (2011). *Directive 2011/92/EU of 13 December 2011 on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment (codification)*. *Official Journal of the European Union*, L 26, 1–21.
- European Parliament and Council of the European Union. (2014). *Directive 2014/52/EU of 16 April 2014 amending Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment*. *Official Journal of the European Union*, L 124, 1–18.
- European Commission, Directorate-General XI (Environment, Nuclear Safety and Civil Protection). (1999). *Guidelines for the assessment of indirect and cumulative impacts as well as impact interactions*. Prepared by Hyder Consulting Ltd. Brussels: European Commission, DG XI.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2022). *Cumulative Impacts Research: Recommendations for EPA's Office of Research and Development* (EPA/600/R-22/014a). Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- Byer, P. H., Lalani, D., Henry, K., & Gill, A. (2018). *The use of strategic environmental assessment to address cumulative effects and sustainability*. *Environmental Impact Assessment Review*, 68, 83–93.
- Weiland, U. (2010). *Environmental protection in Germany: The implementation of the Strategic Environmental Assessment and its contribution to sustainable development*. *Environmental Impact Assessment Review*, 211–217.
- Stelzenmüller, V., Coll, M., Mazaris, A. D., Giakoumi, S., Katsanevakis, S., Portman, M. E. & Gimpel, A. (2018). *A risk-based approach to cumulative effect assessments for marine management*. *Science of the Total Environment*, 612, 1132–1140.
- Judd, A. D., Backhaus, T., & Goodsir, F. (2015). *An effective set of principles for practical implementation of marine cumulative effects assessment*. *Environmental Science & Policy*, 54, 254–262.
- Canter, L. W., & Atkinson, S. F. (2011). *Multiple uses of indicators and indices in cumulative effects assessment and management*. *Environmental Impact Assessment Review*, 491–501.
- Melbourne-Thomas, J., Wotherspoon, S., Raymond, B., & Constable, A. J. (2012). *Comprehensive evaluation of model uncertainty in qualitative network analyses*. *Ecological Monographs*, 82(4), 505–519.
- Stock, A., & Micheli, F. (2016). *Effects of model assumptions and data quality on spatial cumulative human impact assessments*. *Global Ecology and Biogeography*, 1321–1332.

- Blakley, J., Duinker, P. N., Grieg, L. A., Hegmann, G. J., & Noble, B. F. (2017). *Advancing cumulative effects assessment practice in Canada and internationally: What's next?* International Association for Impact Assessment (IAIA) Special Symposium Paper.
- Smith, A. (2025). *Challenges in conducting CEA studies.* Presentazione al *Cumulative Effects Workshop (IAIA25)*, Bologna.
- The World Bank. (2016). *Environmental and Social Framework*. Washington, DC: The World Bank.
- International Finance Corporation. (2013). *Good Practice Handbook: Cumulative Impact Assessment and Management – Guidance for the Private Sector in Emerging Markets*. Washington, DC: IFC.
- International Finance Corporation. (2012). *Performance Standard 1: Assessment and Management of Environmental and Social Risks and Impacts*. Washington, DC: IFC.
- Asian Development Bank. (2009). *Safeguard Policy Statement*. Manila: Asian Development Bank.
- Council of the European Communities. (1992, May 21). *Council Directive 92/43/EEC on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora* (OJ L 206/7, 22 July 1992).
- European Parliament & Council. (2001, June 27). *Directive 2001/42/EC on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment* (OJ L 197, 21.07.2001, pp. 30-37).
- European Parliament & Council. (2011, December 13). *Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment* (OJ L 26, 28.1.2012, pp. 1–21).
- European Commission, Directorate-General XI (Environment, Nuclear Safety & Civil Protection). (1999, May). *Guidelines for the Assessment of Indirect and Cumulative Impacts as well as Impact Interactions*. Brussels: European Commission.
- United States Environmental Protection Agency. (2022). *Cumulative Impacts Research: Recommendations for EPA's Office of Research and Development* (EPA/600/R-22/014a). Washington, DC: U.S. EPA.

7. SITOGRAFIA

- https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/cumulative-impacts#:~:text=Cumulative%20impacts%20include%20a%20time,and%20reasonably%20foreseeable%20future%20actions.
- https://www.ifc.org/en/home
- https://www.worldbank.org/en/projects-operations/environmental-and-social-framework
- https://www.unep.org/
- https://www.oecd.org/en/topics/environment.html
- https://environment.ec.europa.eu/index_en
- https://www.eea.europa.eu/en
- https://eur-lex.europa.eu/TodayOJ/
- https://www.whitehouse.gov/ceq/
- https://www.mase.gov.it/portale/home
- https://www.isprambiente.gov.it/it
- https://iaia.org/