

Programma di Cooperazione Interreg V – A Italia-Francia “Marittimo 2014 2020”

ALACRES2

Servizio avanzato di Laboratorio per Crisi ed Emergenze, in porto nello Spazio di cooperazione dell'alto tirreno, basato su Simulazione

Analisi Sperimentale & Protocolli per Aumentare la Sicurezza

Giugno 2022



La coopération au cœur de la Méditerranée
 La cooperazione nel cuore del Mediterraneo





Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

Descrizione Analisi Sperimentali e Risultati

L'analisi è stata effettuata all'interno di quattro scenari, attraverso tre località (Bastia, Cagliari e Tolone) e diversi eventi di crisi (Incendio, esplosione, caduta di uomo a mare, feriti da evacuare, Versamento di Sostanze Contaminanti in Mare Rilascio in Atmosfera di Sostanze Tossiche e Contaminanti, Contaminazione covid-19, Presenza di soggetti Infetti nell'imbarco di Ferry).

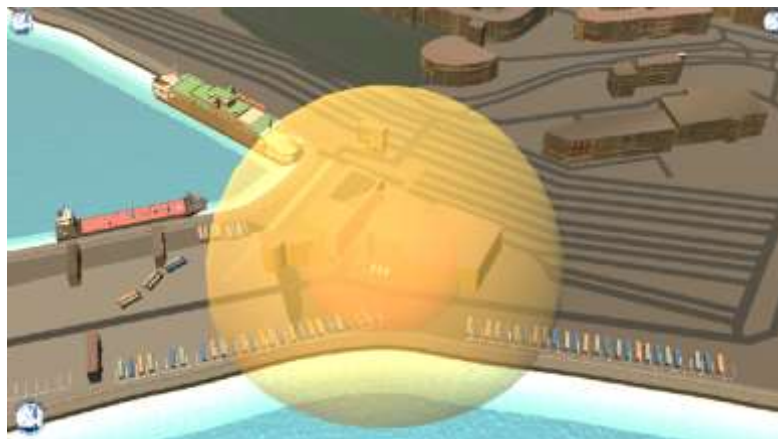


Figura 1: Scenario di esplosione all'interno del Porto di Bastia

Gli scenari di crisi sono stati sviluppati all'interno delle rispettive aree portuali a partire dalle cause scatenanti scelte, che sono state una deflagrazione di materiale esplosivo e una perdita di materiale inquinante fluido sulla superficie marina.

In Figura 1 è riportato il primo caso di crisi, l'esplosione, all'interno del porto di Bastia sul lato terra. Il materiale viene stoccato e trasportato in cisterne, che possono danneggiarsi e dar origine alla deflagrazione. L'entità dei danni da esplosione dipende dalle proprietà intrinseche dell'esplosivo e dagli elementi che si trovano all'interno del raggio di esplosione, così come l'interazione sinergica tra più elementi. Per questo motivo, per la valutazione è sempre necessario tener presente quali sono gli elementi ambientali e quali entità potrebbero essere coinvolte nel caso si verifichi l'evento. L'analisi ha perciò considerato il coinvolgimento di altre entità, attraverso l'utilizzo dei modelli, quali le persone e veicoli di trasporto. In questo modo è possibile individuare le criticità operative e individuare possibili soluzioni per limitare i danni e prevenire situazioni devastanti. Le operazioni di soccorso sono fondamentali nel contenere i danni, tuttavia fattori di agevolazione rimangono il tempo di intervento, soprattutto se si pensa alla raggiungibilità del luogo di incidente rispetto ai centri operativi, e l'entità dei danni presenti in relazione ai mezzi disponibili.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2



Figura 2: Scenario di dispersione di materiale inquinante nel Porto di Cagliari

In Figura 2 è rappresentato uno scenario di incidente marittimo, nello specifico lo sversamento di inquinante liquido in mare, all'interno dell'area portuale di Cagliari. A differenza dell'evento precedente, lo sversamento è stato localizzato nella parte più marittima nel porto. Lo sversamento in mare può riguardare numerose sostanze comuni, tra le quali di interesse possono essere rappresentate dagli idrocarburi trasportate dalle navi tankers. L'incidente viene quindi originato dalla collisione tra due navi in manovra, con la conseguente rottura delle cisterne di contenimento. Le operazioni di soccorso e recupero sono possibili tramite l'utilizzo di agenti autonomi, che consentono all'utente di poter gestire la crisi secondo le decisioni intraprese. L'utente è così in grado da una parte di limitare i danni alle persone, attraverso azioni di ricerca e recupero, ma anche i danni ambientali che derivano dalla diffusione del materiale inquinante in ambiente. Allo stesso modo del caso precedente, anche qua è possibile individuare quali sono le criticità riscontrate sull'intero processo, e le criticità connesse ai tempi di intervento.

Le prove degli scenari descritti sono state effettuate con il coinvolgimento degli esperti in materia. I risultati delle diverse simulazioni sono state ritenute coerenti con la realtà. Questo ha permesso la valutazione di diversi protocolli di intervento, e di compararli secondo i parametri e gli obiettivi prestabiliti.

Protocolli adottati nella simulazione:

- Valutare immediatamente l'entità e la gravità del versamento.
- Notificare prontamente le autorità competenti e gli enti di risposta alle emergenze.
- Mobilizzare rapidamente le risorse e le attrezzature necessarie per contenere e recuperare il materiale sversato.
- Assicurarsi che il personale coinvolto sia adeguatamente formato e attrezzato.
- Implementare barriere o boom per contenere la diffusione del materiale sversato



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

- Utilizzare skimmer e altre attrezzature per rimuovere l'olio dalla superficie dell'acqua.
- Demobilizzare le risorse e le attrezzature una volta completate le operazioni di recupero.
- Condurre una revisione post-evento per valutare la risposta e identificare le aree di miglioramento.
- Mantenere una comunicazione costante tra tutti gli enti coinvolti.
- Coordinare le azioni con altri stakeholder, come le autorità portuali, i soccorritori e le organizzazioni ambientali.

ANOVA e MSpE

Il Simulatore ALACRES2 e' di tipo stocastico, ad eventi discreti e Intelligent Agent Drive. Questo significa che gli Agenti Intelligenti (IA) controllano le azioni e reazione degli oggetti presenti nello scenario a seconda di come evolva la situazione coordinandosi ove possibile; per esempio se la crisi prevista porta ad un rilascio di greggio in mare o di altri prodotti inquinanti, i rimorchiatori che dispongono di panne e sistemi di raccolta si recano nella zona della crisi navigando in modo da evitare abbordi in mare e poi si coordinano passandosi la cima della panna e stendendola per poi muoversi in modo collaborativo alla fine di raccogliere la chiazza di contaminante sulla superficie del mare. Questa operazione richiede coordinamento ed e' condotta dai sistemi intellegenti, in modo simile in caso di uomo a mare, le pilotina o barche dei vigili del fuoco preposte vengono controllati dagli IA per accostare in modo sicuro alle persone in acqua e li ripescano. In questo contesto la durata delle operazioni, cosi' come l'evoluzione della crisi ed anche altri fattori e' regolata da distribuzioni estratte dai dati caratterizzanti con tecnica Monte Carlo.

Quindi al fine di convalidare la completezza e correttezza dei Modelli Concettuali e di verificare la loro implementazione, in questa fase, si sono applicate metodologie dinamiche di tipo quantitativo. In particolare, si e' condotta l'analisi della varianza (ANOVA) e lo studio dell'andamento della MspE (Mean Square pure Error) che permette di valutare l'andamento dell'errore sperimentale all'avanzare del tempo e in riferimento a replicazioni condotte mantenendo tutti parametri costanti con l'eccezione dei semi d'innescio delle distribuzioni stocastiche

La formula per MspE e' data da

$$Y_{mk}(t, n_a) = \frac{1}{n_a} \sum_{j=1}^{n_a} Y_{k_j}(t)$$

$$M_{SpE}k(t, n_a) = \sum_{i=1}^{n_a} \frac{\left[Y_{k_i}(t) - \left(\frac{1}{n_a} \sum_{j=1}^{n_a} Y_{k_j}(t) \right) \right]^2}{n_a - 1}$$

$Y_{kj}(t)$ è la k-esima Funzione Target della j-esima replica al tempo t



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

- $Y_{mk}(t, n_a)$ Media per la k-esima funzione target al tempo t su n_a repliche
- $M_{SpE_k}(t, n_a)$ è il Mean Square pure Error della funzione target Y_k target al tempo t con n_a replicazioni
- n_a numero di run replicate

La simulazione è consistente se l' M_{SpE} si stabilizza, mentre è validata se è confinata entro un valore massimo che rappresenta l'Errore sperimentale e la precisione dei modelli rispettano la perturbazione dovuta al rumore e ad altri fattori regolati da fenomeni stocastici.

$n_o, t_o / M_{SpE_k}(t_s, n_s) < M_{SpE_k}(t_o, n_o) \forall t_s > t_o \forall n_s > n_o \Rightarrow V\&V$ va bene

$n_s, t_s / \frac{2 \lambda_{\alpha, n_s} \sqrt{M_{SpE_k}(t_s, n_s)}}{G_{nz}(Y_{m_k}(t, n_s))} < DT_s \forall t > t_s \forall n_s > n_o \Rightarrow$ il Simulatore la tolleranza desiderat

$$G_{nz}(x) = \begin{cases} x < 0 & x \\ x = 0 & 1 \end{cases}$$

- n_s numero di corse replicate che soddisfano la tolleranza desiderata
- t_s Durata della simulazione coerente con la tolleranza desiderata
- DT_s Tolleranza desiderata espressa come percentuale del valore Y_k
- n_o numero ottimale di esecuzioni replicate
- t_o durata ottimale della simulazione
- n_u numero di esecuzioni replicate utilizzate per la sperimentazione
- t_u durata simulazione per la sperimentazione
- λ_{α} il percentile con α significatività desiderata ottenuta da una distribuzione t-student a doppia coda e gradi di libertà uguali al numero di replicazioni utilizzate
- $V\&V$ Verifica e Validazione

Infatti, l' M_{SpE} determina l'errore sperimentale dovuto al solo effetto delle componenti stocastiche e di conseguenza rappresenta una misura della banda di confidenza basata sulla seguente equazione:

$$CB_k = \pm \lambda_{\alpha, n_u} \sqrt{M_{SpE_k}(t_u, n_u)}$$

CB_k Confidence Band for k-th Target Function



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Nel nostro caso, la sperimentazione è stata condotta sul greggio disperso in superficie e in caso di collisione tra due navi nell'area interna del porto e sull'uso di barriere e attrezzature di aspirazione sui rimorchiatori per rimuoverlo. Le funzioni obiettivo sono

Contaminante evaporato

Olio disperso in mare

Superficie massima di olio versato in mare durante lo scenario

Quantità recuperata dai rimorchiatori

Casi di incidenti

Casi di incidenti Essendo questa una Simulazione Terminante regolata dalla durata della missione dei rimorchiatori per controllare la fuoriuscita di petrolio e rimuoverla, i termini t_s , t_o e t_u sono riferiti al tempo necessario per completare la missione e la MSpE viene analizzata proprio rispetto al numero di repliche, cambiando il seme casuale delle distribuzioni statistiche utilizzate per le variazioni meteorologiche (es. vento e altri elementi meteorologici che cambiano rispetto alla media, variazione delle quantità rilasciate, etc.). Nei grafici MSpE proposti di seguito è evidente che il sistema si stabilizza, confermando la validità del simulatore.

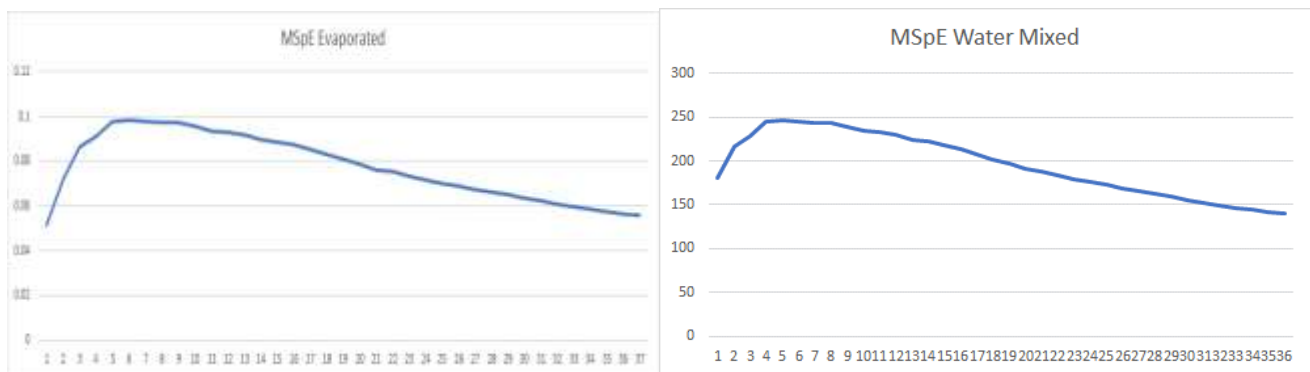


Fig. 3: MSpE per contaminante evaporato e Olio disperso in acqua



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

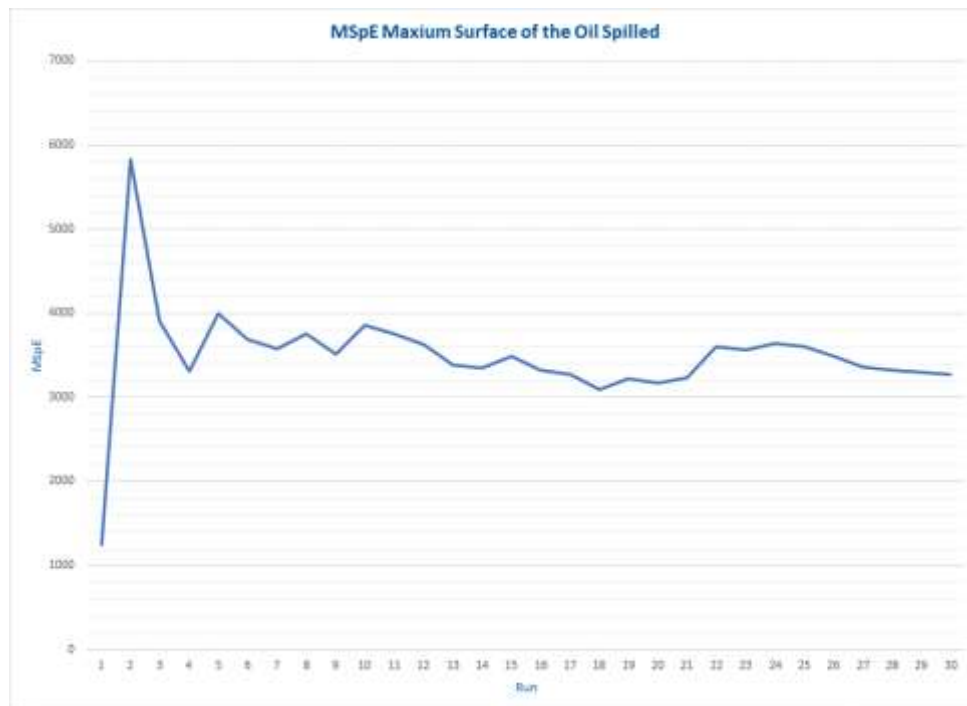


Fig. 4: MsPE per superficie massima di olio fuoriuscito

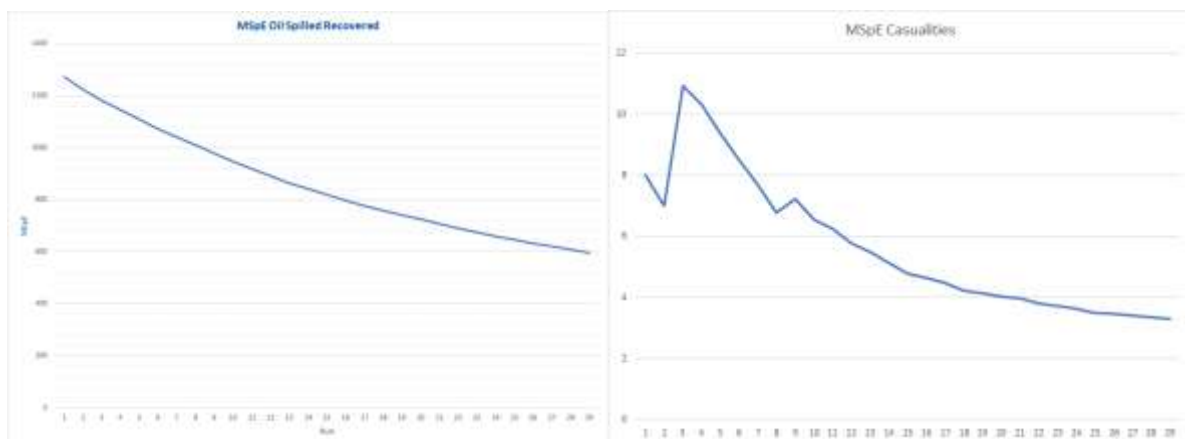


Fig. 5: MsPE per Olio recuperato e numero di incidenti

Sulla base di questi risultati è stato realizzato un Central Composite Design (CCD) con corse replicate solo al centro e punti fattoriali intorno rispetto alle seguenti variabili indipendenti

- A: Magnitudo del vento
- B: Direzione del vento
- C: Entità della corrente marina



- D: Direzione della corrente marina
- E: Massa della fuoriuscita di petrolio

Gli esperimenti sono stati condotti in condizioni simili con intervalli fissi di questi fattori e il Fattore e l'Effetto sono stati calcolati con l'Analisi di Sensitività per identificare l'influenza di tutte le diverse Variabili Indipendenti e i loro secondi e terzi effetti.

Di seguito vengono proposti i risultati per diverse Funzioni Obiettivo

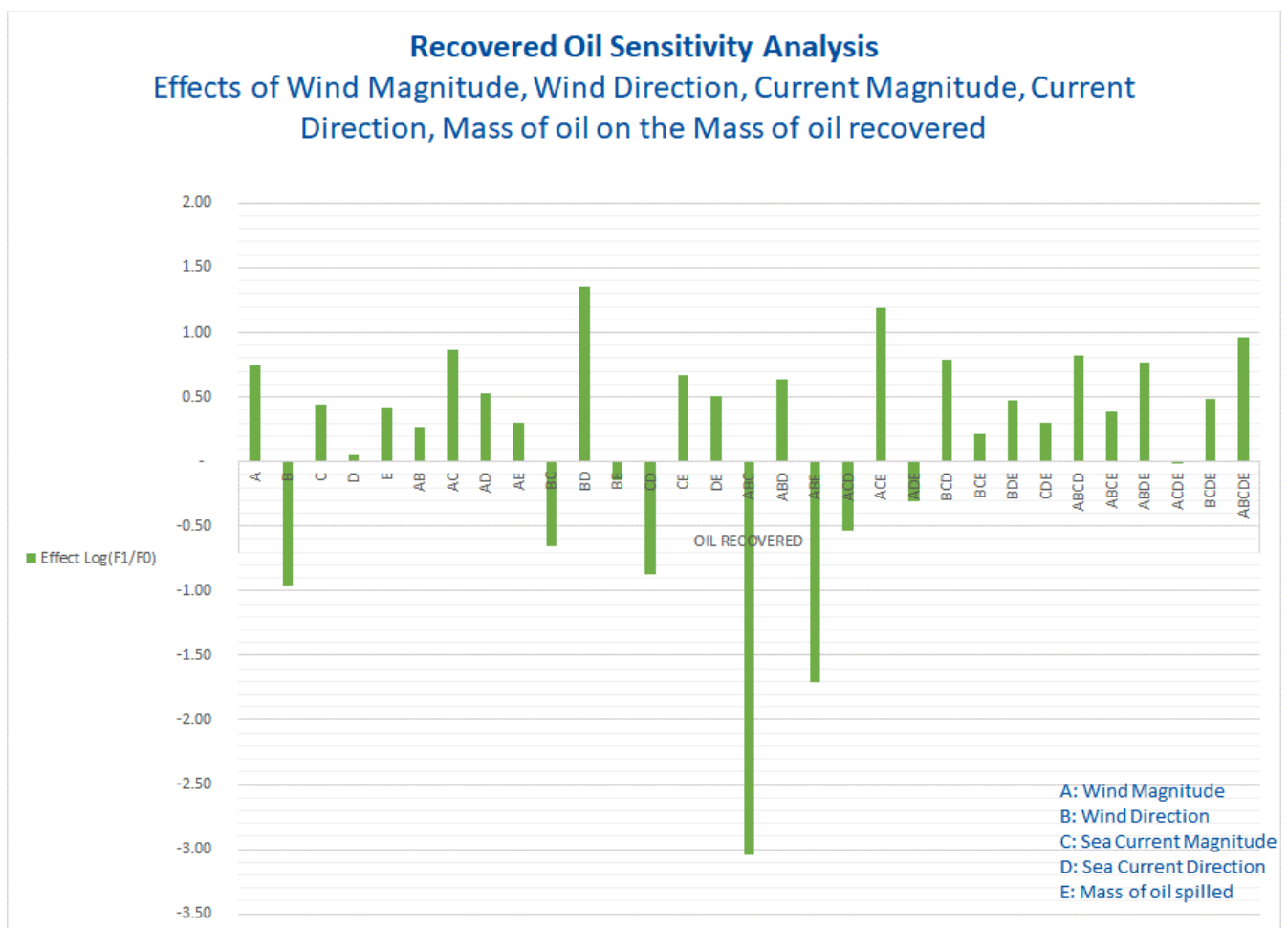


Fig. 6 : Analisi di sensitività per la massa di olio recuperato rispetto a quello sversato

Questo grafico mostra l'analisi di sensibilità del recupero dell'olio in seguito a un versamento, in base a vari fattori come la magnitudo e la direzione del vento, la corrente marina e la sua direzione, e la massa dell'olio versato. Le barre verticali rappresentano l'effetto ($\log(F_i/F_0)$) di ciascuna combinazione di variabili sugli esiti del recupero dell'olio.

A (Magnitudo del vento): Il vento ha un forte effetto sul recupero dell'olio. Questo è logico poiché venti più forti possono disperdere l'olio più velocemente e in aree più vaste.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

B (Direzione del vento), C (Entità della corrente marina), D (Direzione della corrente marina), E (Massa della fuoriuscita di petrolio): Le barre relativamente piccole suggeriscono che queste variabili, prese singolarmente, hanno un impatto minore sul recupero dell'olio rispetto alla magnitudo del vento.

Interazioni tra variabili: Le barre che rappresentano le interazioni tra due o più variabili (es. AB, AC, ecc.) mostrano l'effetto combinato di quelle variabili. Ad esempio, "AB" rappresenta l'interazione tra la magnitudo e la direzione del vento.

AB, AC, AD, AE, ecc.: Queste barre sono più lunghe (sia positivamente che negativamente), il che indica che le interazioni tra variabili hanno un impatto significativo sul recupero dell'olio. Ad esempio, la combinazione della magnitudo del vento e della direzione del vento (AB) ha un impatto notevole.

- La magnitudo del vento è una variabile chiave che influisce sul successo del recupero dell'olio.

- Le interazioni tra variabili, come la magnitudo e la direzione del vento, la direzione del vento e la corrente marina, ecc., sono cruciali per comprendere e prevedere il comportamento dell'olio versato.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

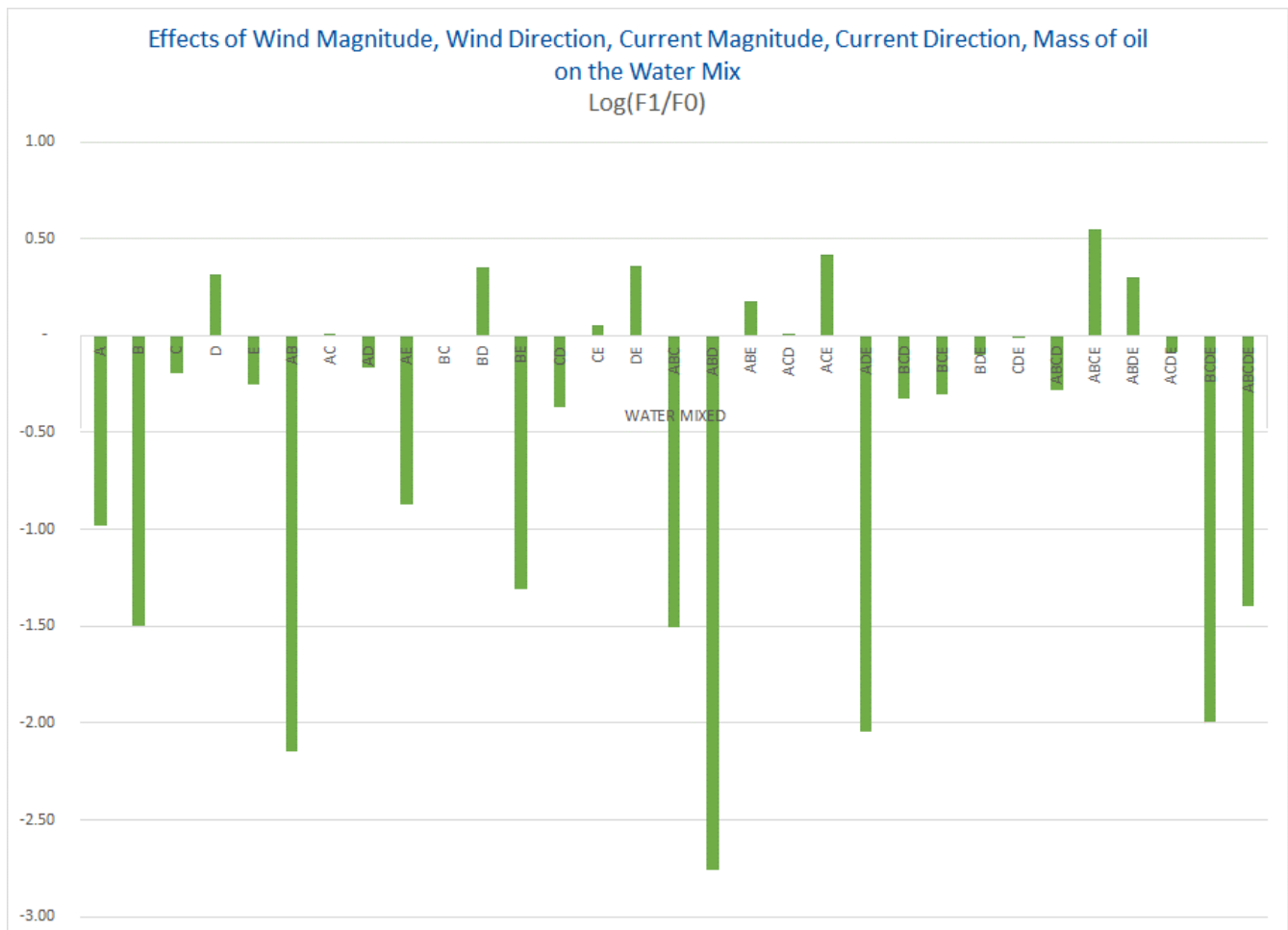


Fig. 7: Analisis di sensitività per l'olio disperso in acqua

Questo grafico rappresenta l'analisi di sensitività relativa all'effetto di diverse variabili sul miscelamento dell'olio con l'acqua ("Water Mix") in un contesto di versamento di petrolio.

L'effetto delle singole variabili sembra essere relativamente limitato, con barre più corte rispetto alle combinazioni di variabili.

BD, CE, DE: Queste combinazioni di variabili mostrano un impatto notevole, suggerendo che l'interazione tra queste variabili influisce significativamente sul miscelamento dell'olio nell'acqua.

Le combinazioni che coinvolgono tre variabili mostrano che la complessità dell'interazione aumenta, e l'effetto combinato di queste variabili è significativo nel determinare l'entità del miscelamento dell'olio nell'acqua.

L'analisi suggerisce che una combinazione di fattori, come la magnitudo del vento accoppiata con l'entità e la direzione della corrente marina, sono cruciali per comprendere e prevedere l'efficienza del processo di miscelamento e, quindi, le strategie di contenimento e recupero dell'olio versato.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

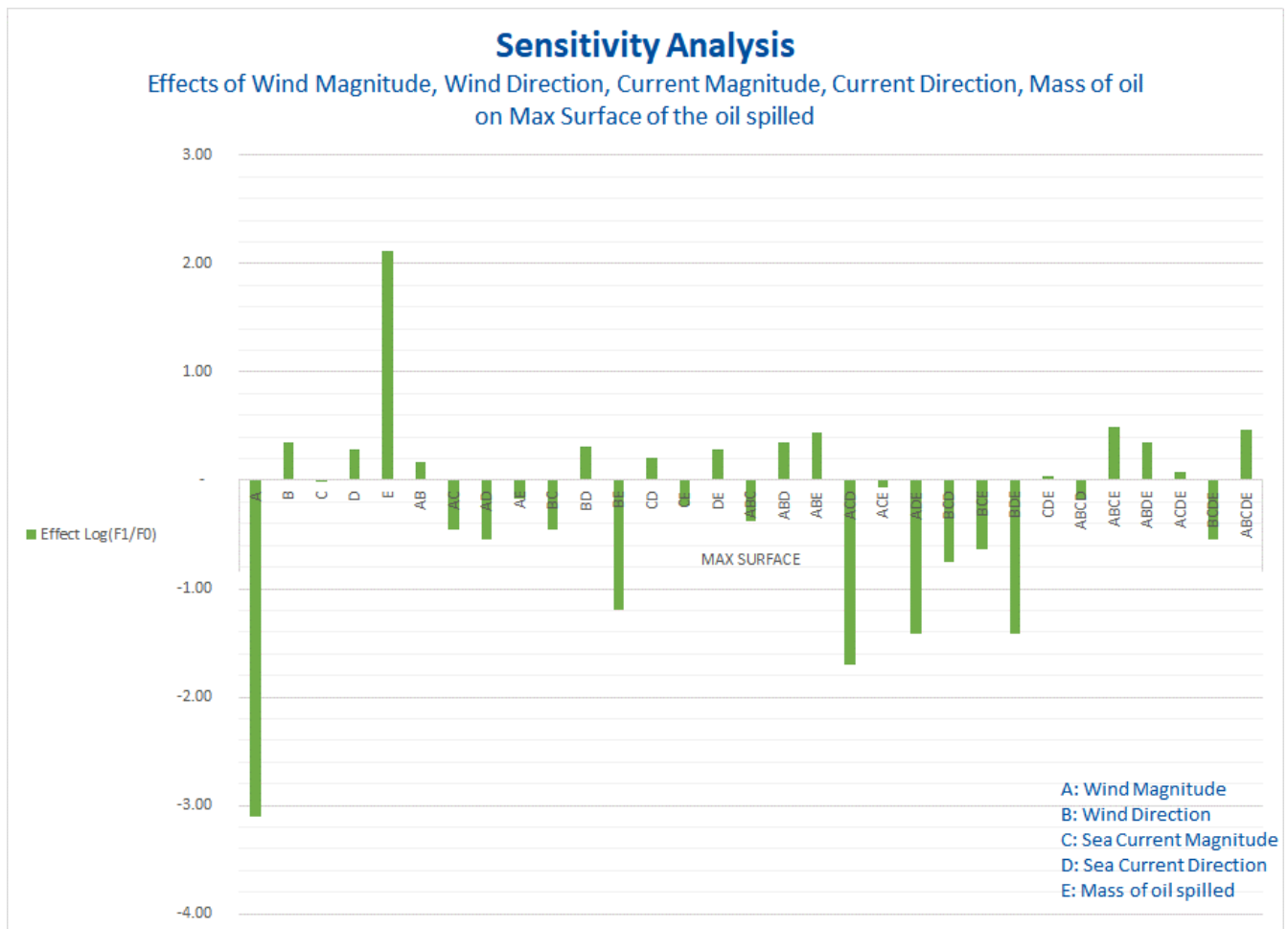


Fig. 8: Analisi di sensitività per la massima superficie di olio sversato

Questo grafico illustra l'analisi di sensibilità delle variabili sulla massima superficie di olio versato ("Max Surface").

La variabile E (Massa di olio) ovviamente ha un impatto notevole sulla superficie massima di olio versato

Le combinazioni con più variabili tendono ad avere un impatto complessivo più piccolo sulla superficie dell'olio versato, ma sono ancora importanti per capire l'effetto combinato di più fattori.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

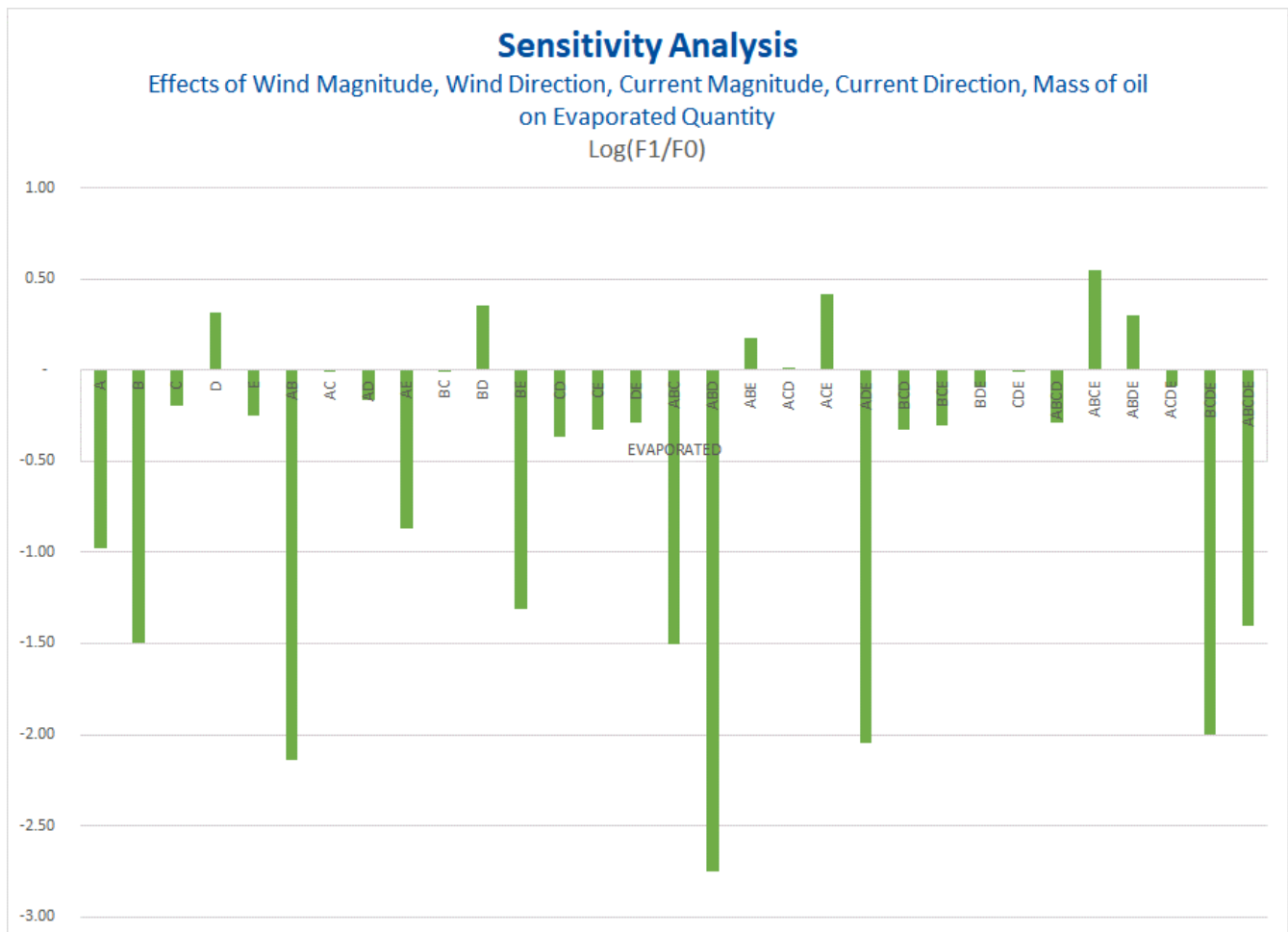


Fig. 9: Analisi di sensitività per la quantità di contaminante evaporato

Questo grafico rappresenta l'analisi di sensibilità delle variabili sulla quantità evaporata di olio versato ("Evaporated Quantity").

L'interazione tra variabili mostrano barre più lunghe, indicando un impatto maggiore sulla quantità evaporata. L'interazione tra queste variabili gioca un ruolo importante nel determinare quanto olio si evaporerà. L'evaporazione dell'olio è influenzata da una combinazione di fattori, e le interazioni tra questi fattori sono cruciali per comprendere completamente il processo di evaporazione.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



I risultati sono stati convalidati con il team campione ALACRES2 che ha confermato la validità della simulazione. Le simulazioni hanno evidenziato un immediato dispiegamento delle barriere di contenimento da parte dei rimorchiatori, con un alto tasso di successo nel limitare la diffusione del contaminante. Gli equipaggiamenti di aspirazione hanno mostrato un'efficacia variabile a seconda delle condizioni meteorologiche. Si raccomanda l'ulteriore addestramento degli operatori per garantire l'efficienza sotto ogni condizione. L'implementazione di modelli predittivi per la dispersione dei contaminanti ha permesso di ottimizzare l'uso delle barriere di contenimento. I protocolli per la valutazione della qualità dell'aria e le tecniche di monitoraggio a distanza hanno fornito dati importanti per la gestione in tempo reale dell'incidente.

Analisi COVID 19:

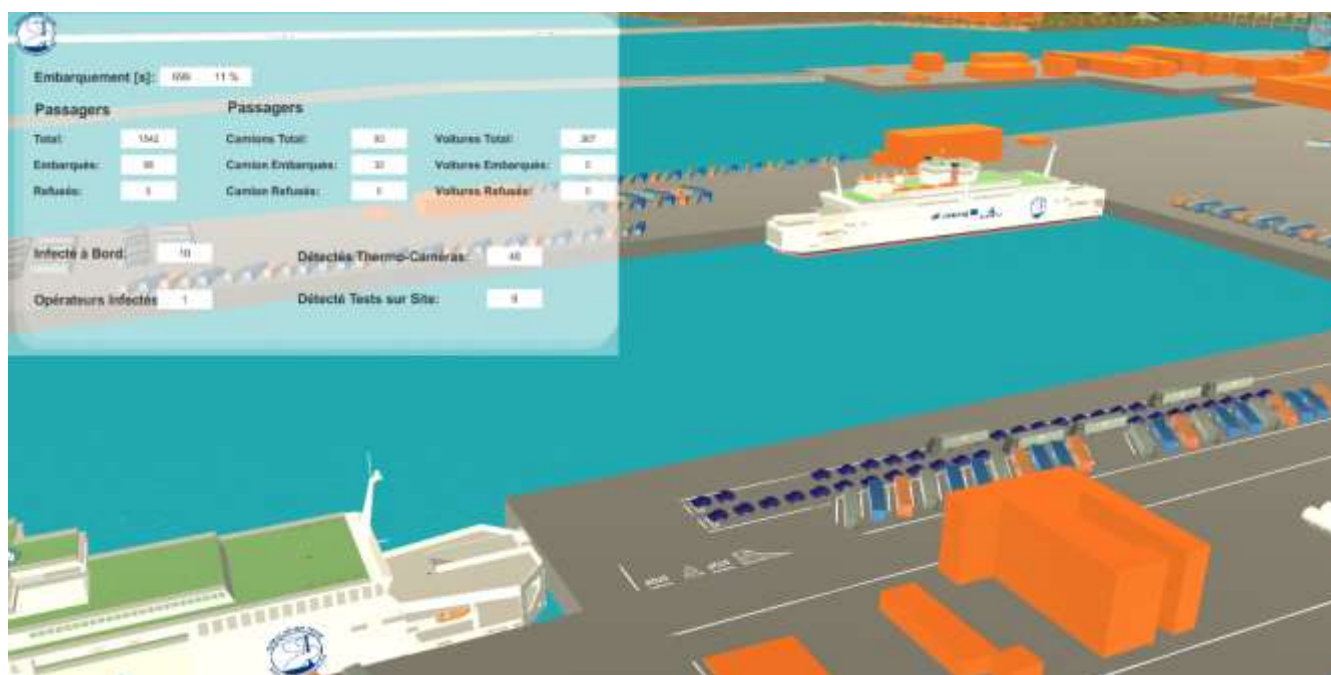


Fig. 10: Simulatore per gestione crisi COVID-19 nel processo di imbarco targhetti

Variabili di Input (Fattori):

Queste sono le variabili che si intendono modificare o manipolare per osservare come influenzano l'output:

- Tamponi
- Mascherine
- Green Pass
- Pret-est
- Telecamera Termica



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Variabili di Output (Risposte):

Questi sono i risultati che si intendono misurare e analizzare:

- Numero di infetti a bordo
- Infetti rilevati dalla telecamera termica
- Infetti rilevati dal tampone
- Infetti rilevati dal pre-test
- Numero di individui respinti

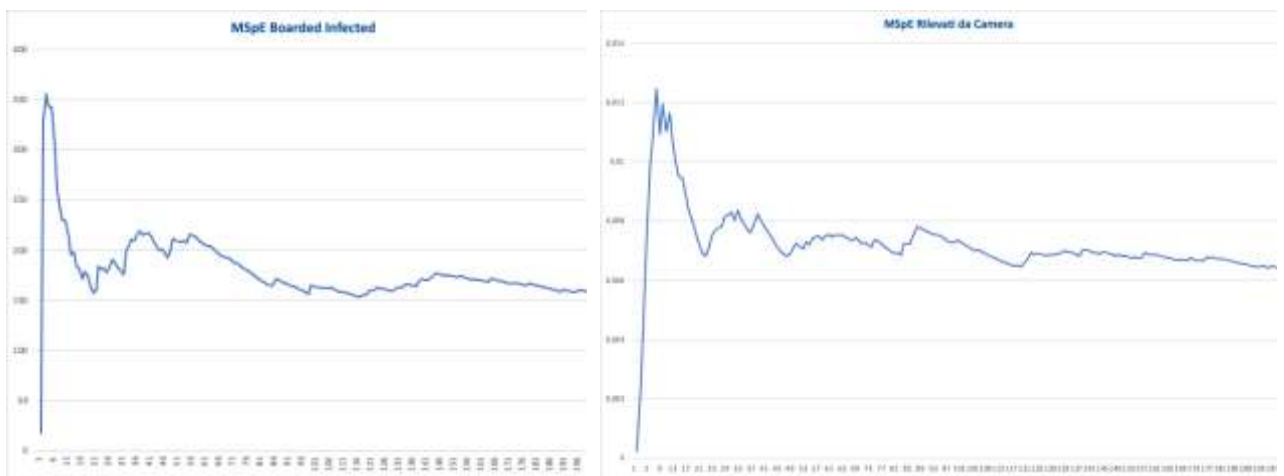


Fig. 11: MSpE per passeggeri saliti infetti e rilevati da telecamera

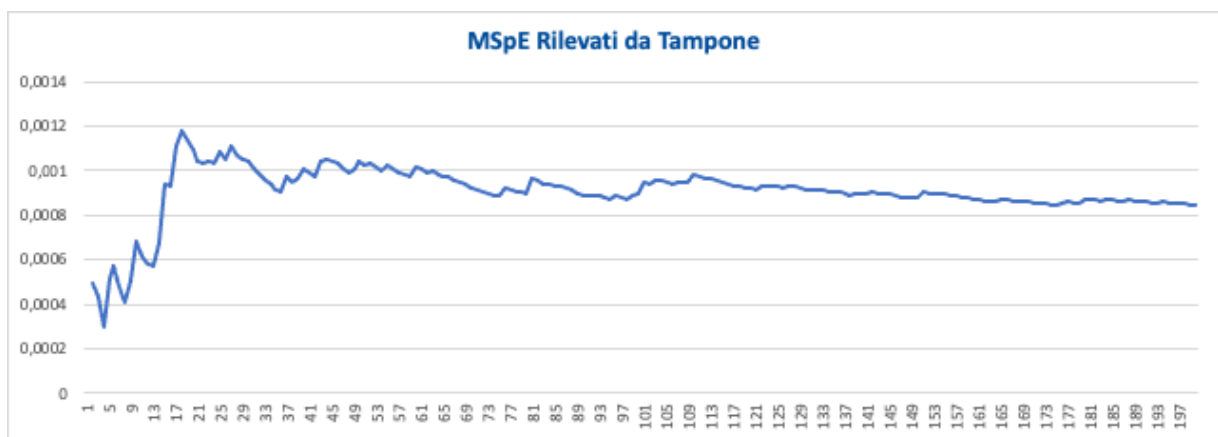


Fig. 12: MSpE per passeggeri infetti rilevati da tampone



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

A (Tamponi): Una barra positiva significativa suggerisce che l'utilizzo dei tamponi è efficace nell'identificare e respingere i passeggeri infetti.

C (Green Pass): Ovviamente anche questa barra ci indica che il controllo del Green Pass contribuisce anch'esso al rifiuto dei passeggeri infetti. Le barre che rappresentano combinazioni di variabili (es. AC, CE, ecc.) indicano l'effetto combinato di queste variabili.

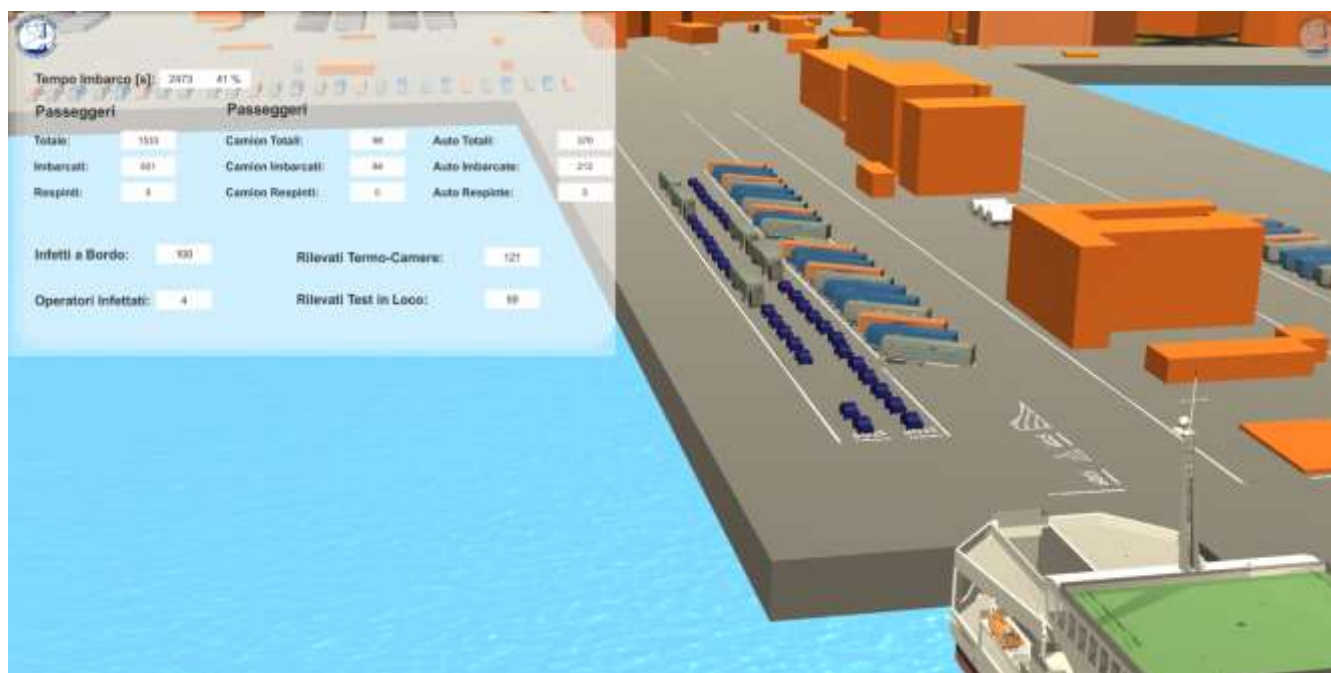


Fig. 14: Immagine del piazzale di imbarco traghetti e simulazione numero di infetti e rilevati



Interreg



UNION EUROPEENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

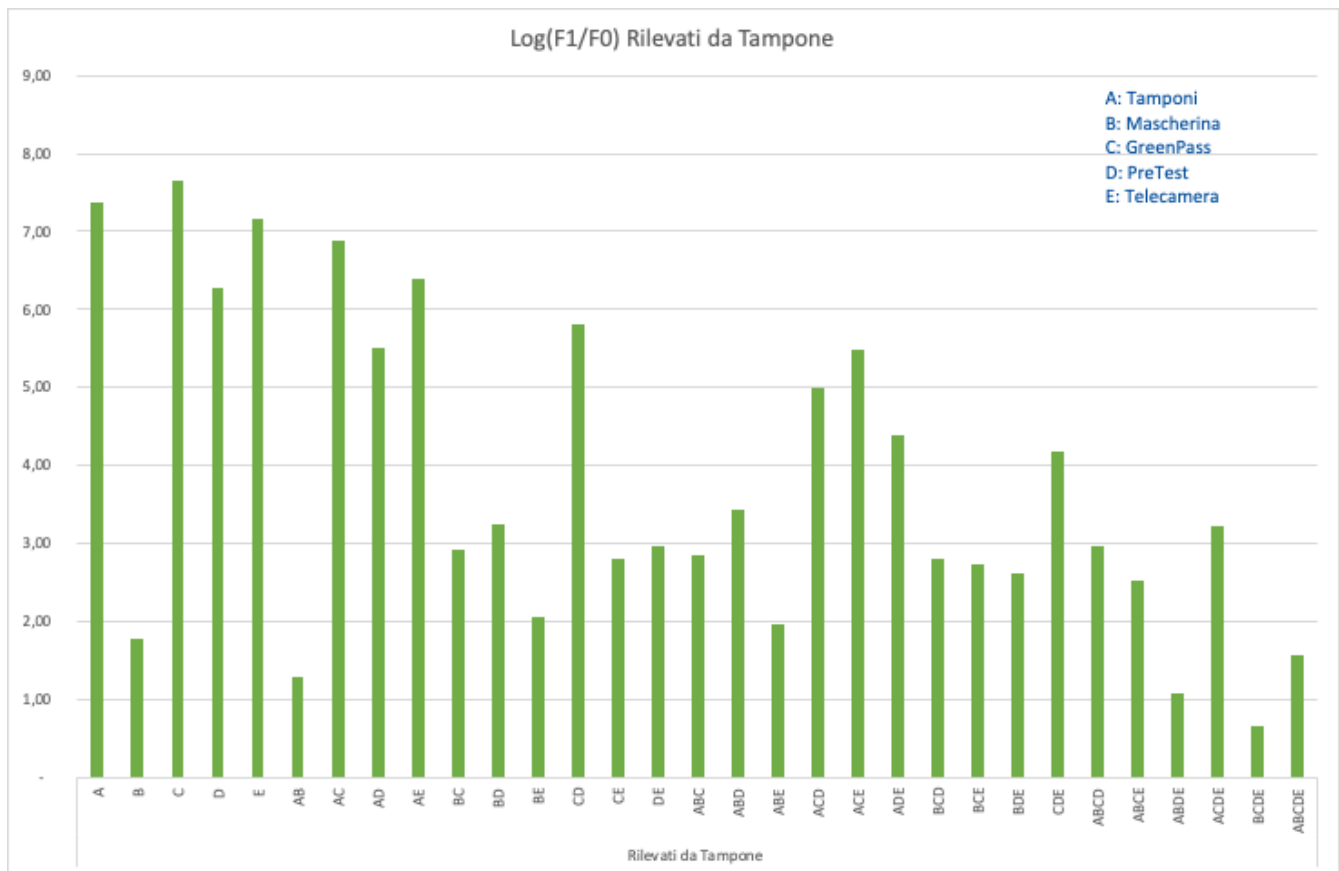


Fig. 15: Analisi di sensitività per passeggeri infetti rilevati da tampone

A (Tamponi): Una barra molto alta indica che l'uso dei tamponi da solo è altamente efficace nel rilevare individui infetti.

Le barre più alte sono principalmente associate alla variabile "A (Tamponi)" o combinazioni che includono questa variabile, sottolineando l'importanza dei tamponi nel rilevamento dei contagi.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

La simulazione dell'imbarco ha permesso di valutare l'efficacia di diversi protocolli di screening per prevenire la diffusione del COVID-19 durante i viaggi in traghetto. L'analisi ha evidenziato l'importanza di combinare più metodi di screening, come tamponi, controlli di temperatura e verifica del Green Pass, per minimizzare il rischio di imbarcare passeggeri infetti e limitare così la possibile diffusione del virus a bordo.

Entrambe le simulazioni mostrano l'importanza dell'uso di approcci multivariabili e dell'analisi delle interazioni tra variabili per migliorare la comprensione e la gestione delle emergenze. I risultati ottenuti possono guidare l'ottimizzazione dei protocolli e delle strategie operative, promuovendo una risposta più efficace e resiliente nei contesti marittimi sia in relazione alla protezione ambientale che alla sicurezza e al benessere dei passeggeri e del personale a bordo. L'integrazione delle lezioni apprese e l'adattamento continuo delle strategie in base ai risultati delle simulazioni sono essenziali per navigare con successo attraverso le sfide dinamiche e multifattoriali poste da queste situazioni di emergenza.

References

Box, G. E., & Hunter, J. S. (1957). Multi-factor experimental designs for exploring response surfaces. *The Annals of Mathematical Statistics*, 195-241.

Bruzzone, A. G., Vairo, T., Cepolina, E. M., Massei, M., De Paoli, A., Ferrari, R., et al. (2022, October). Cooperative Use of Autonomous Systems to Monitor Toxic Industrial Materials and Face Accidents & Contamination Crises. In *International Conference on Modelling and Simulation for Autonomous Systems* (pp. 231-242). Cham: Springer International Publishing.

Bruzzone, A. G., Massei, M., Sinelshchikov, K., Tarone, F., Vairo, T., Magrì, S., ... & Cancedda, M. F. (2021). Improving Safety in Ports & Harbor Facilities by MS2G.

Bruzzone, A., Massei, M., Longo, F., Di Matteo, R., & Sinelshchikov, K. (2018, October). Learning decision making processes at strategic level based on VR & augmented reality. In *Workshop on Applied Modelling & Simulation* (p. 56).

Bruzzone, A., Longo, F., Massei, M., Nicoletti, L., Agresta, M., Di Matteo, R., ... & Padovano, A. (2016). Disasters and emergency management in chemical and industrial plants: drones simulation for education and training. In *Modelling and Simulation for Autonomous Systems: Third International Workshop, MESAS 2016, Rome, Italy, June 15-16, 2016, Revised Selected Papers 3* (pp. 301-308). Springer International Publishing.

Bruzzone, A. G., Massei, M., Poggi, S., Bartolucci, C., & Ferrando, A. (2015). Intelligent agents for human behavior modeling as support to operations. In *Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications: International Conference, SIMULTECH 2013 Reykjavík, Iceland, July 29-31, 2013 Revised Selected Papers* (pp. 119-132). Springer International Publishing.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

Bruzzone, A. G., & Williams, E. (2005). Summer Computer Simulation Conference. SCS, San Diego, 470.

Bruzzone, A. G., Mosca, R. et al. (2000). Risk analysis in harbor environments using simulation. Safety science, 35(1-3), 75-86.

Bruzzone, A. G., Giribone, P., & Mosca, R. (1996). Simulation of hazardous material fallout for emergency management during accidents. Simulation, 66(6), 343-356.

Draper, N. R., & Pukelsheim, F. (1996). An overview of design of experiments. Statistical Papers, 37, 1-32.

Draper, N. R., & Pukelsheim, F. (1996). An overview of design of experiments. Statistical Papers, 37, 1-32.

Giribone, P., Bruzzone, A. G., & Caddeo, S. (1995). Oil spills and AI: how to manage resources through simulation (No. CONF-9505224-). The International Emergency Management and Engineering Society, Dallas, TX (United States).

Montgomery D.C. (2000) "Design and Analysis of Experiments", John Wiley & Sons, New York

Spiegel M.R., Schiller L.J.(1999) " Statistics", McGraw Hill, NYC

Programme de Coopération Interreg V – A Italie-France “Maritime 2014 2020”

ALACRES2

service très Avancé de Laboratoire pour les Crises et les situations d'Émergence, en Situation portuaires dans l'espace de coopération de la haute mer Tyrrhénienne, basé sur la Simulation

Analyse expérimentale et protocoles pour accroître la sécurité

Juin 2022



La coopération au cœur de la Méditerranée
 La cooperazione nel cuore del Mediterraneo





Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Description Analyse expérimentale et résultats

L'analyse a été réalisée selon quatre scénarios, sur trois localités (Bastia, Cagliari et Toulon) et différents événements de crise (Incendie, explosion, homme à la mer, blessé à évacuer, Déversement de substances contaminants en mer, Rejet dans l'atmosphère de substances toxiques). Substances et Contaminants, contamination covid-19, Présence de sujets infectés dans la zone d'embarquement du Ferry).

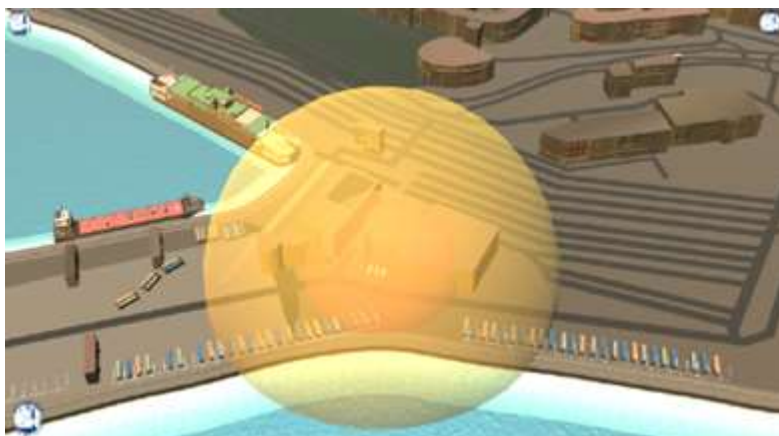


Figure 1 : Scénario d'explosion à l'intérieur du Port de Bastia

Les scénarios de crise ont été élaborés au sein des zones portuaires respectives à partir des déclencheurs choisis, à savoir une déflagration de matière explosive et une fuite de matière fluide polluante à la surface de la mer.

La figure 1 montre le premier cas de crise, l'explosion, à l'intérieur du port de Bastia côté terre. Le matériau est stocké et transporté dans des réservoirs qui peuvent être endommagés et provoquer une explosion. L'étendue des dommages causés par l'explosion dépend des propriétés intrinsèques de l'explosif et des éléments trouvés dans le rayon de l'explosion, ainsi que de l'interaction synergique entre plusieurs éléments. C'est pourquoi, lors de l'évaluation, il est toujours nécessaire de garder à l'esprit quels sont les éléments environnementaux et quelles entités pourraient être impliquées si l'événement se produisait. L'analyse a donc pris en compte l'implication d'autres entités, à travers l'utilisation de modèles, tels que les personnes et les véhicules de transport. De cette manière, il est possible d'identifier les problèmes opérationnels critiques et d'identifier les solutions possibles pour limiter les dommages et prévenir les situations dévastatrices. Les opérations de secours sont fondamentales pour contenir les dégâts, mais les facteurs facilitants restent le temps d'intervention, surtout si l'on considère l'accessibilité du lieu de l'accident par rapport aux centres opérationnels, et l'étendue des dégâts présents par rapport aux moyens disponibles.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figure 2: Scénario de dispersion de matières polluantes dans le port de Cagliari

La figure 2 représente un scénario d'accident maritime, notamment le déversement d'un polluant liquide dans la mer, au sein de la zone portuaire de Cagliari. Contrairement à l'événement précédent, la pollution s'est produite dans la partie la plus maritime du port. Le déversement en mer peut impliquer de nombreuses substances courantes, parmi lesquelles les hydrocarbures transportés par les pétroliers peuvent être intéressants. L'accident a donc pour origine la collision entre deux navires en manœuvre, avec pour conséquence la rupture des réservoirs de confinement. Les opérations de sauvetage et de récupération sont possibles grâce au recours à des agents autonomes, qui permettent à l'utilisateur de gérer la crise en fonction des décisions prises. L'utilisateur est ainsi en mesure d'une part de limiter les dommages aux personnes, par des actions de recherche et de valorisation, mais également les dommages environnementaux résultant de la propagation de matières polluantes dans l'environnement. De la même manière que dans le cas précédent, il est ici aussi possible d'identifier les problèmes critiques rencontrés dans l'ensemble du processus, ainsi que les problèmes critiques liés aux délais d'intervention.

Les tests des scénarios décrits ont été réalisés avec la participation d'experts en la matière. Les résultats des différentes simulations ont été jugés conformes à la réalité. Cela a permis d'évaluer différents protocoles d'intervention, et de les comparer selon les paramètres et objectifs préétablis.

Protocoles adoptés dans la simulation:

- Évaluer immédiatement l'ampleur et la gravité du déversement.
- Informer rapidement les autorités compétentes et les entités d'intervention d'urgence.
- Mobiliser rapidement les ressources et équipements nécessaires pour contenir et récupérer les matières déversées.
- Veiller à ce que le personnel impliqué soit correctement formé et équipé.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



- Mettre en place des barrières ou des barrages pour contenir la propagation des matières déversées
- Utiliser des écumers et autres équipements pour éliminer l'huile de la surface de l'eau.
- Démobiliser les ressources et les équipements une fois les opérations de récupération terminées.
- Effectuer un examen post-événement pour évaluer la réponse et identifier les domaines à améliorer.
- Maintenir une communication constante entre toutes les entités impliquées.
- Coordonner les actions avec les autres parties prenantes, telles que les autorités portuaires, les sauveteurs et les organisations environnementales.

ANOVA et MSpE

Le simulateur ALACRES2 est stochastique, à événements discrets et Intelligent Agent Drive. Cela signifie que les Agents Intelligents (IA) contrôlent les actions et réactions des objets présents dans le scénario en fonction de l'évolution de la situation, en les coordonnant lorsque cela est possible ; par exemple, si la crise prévue entraîne un rejet de pétrole brut dans la mer ou d'autres produits polluants, les remorqueurs en panne et dotés de systèmes de collecte se rendent dans la zone de crise, naviguant pour éviter les collisions en mer, puis se coordonnent en passant par la zone de crise. dessus de la crème et l'étaler, puis se déplacer en collaboration pour collecter la tache de contaminant à la surface de la mer. Cette opération nécessite une coordination et est menée par des systèmes intelligents, de même en cas d'homme à la mer, les bateaux-pilotes ou bateaux de pompiers en charge sont contrôlés par l'IA pour approcher en toute sécurité les personnes dans l'eau et les repêcher. Dans ce contexte, la durée des opérations, ainsi que l'évolution de la crise ainsi que d'autres facteurs, sont régulées par des distributions extraites des données caractérisantes avec la technique de Monte Carlo.

Par conséquent, afin de valider l'exhaustivité et l'exactitude des modèles conceptuels et de vérifier leur mise en œuvre, des méthodologies dynamiques quantitatives ont été appliquées dans cette phase. En particulier, l'analyse de variance (ANOVA) a été réalisée et l'étude de la tendance de la MspE (Mean Square pure Error) a été réalisée, ce qui permet d'évaluer la tendance de l'erreur expérimentale au fil du temps et en référence aux réplifications effectuées en gardant toutes paramètres constants à l'exception des germes déclencheurs des distributions stochastiques

La formule pour MspE est donnée par

$$Y_{mk}(t, n_a) = \frac{1}{n_a} \sum_{j=1}^{n_a} Y_{k_j}(t)$$



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



$$M\text{Sp}E_k(t, n_a) = \sum_{i=1}^{n_a} \frac{\left[Y_{k_i}(t) - \left(\frac{1}{n_a} \sum_{j=1}^{n_a} Y_{k_j}(t) \right) \right]^2}{n_a - 1}$$

$Y_{k_j}(t)$ est la kème fonction cible de la jème réplique au temps t

$Y_{mk}(t, n_a)$ Moyenne de la kième fonction cible au temps t sur n_a répétitions

$M\text{Sp}E_k(t, n_a)$ est l'erreur quadratique moyenne pure de la fonction cible Y_k cible au temps t avec n_a répétitions

n nombre d'exécutions répliquées La simulation è consistente se l' $M\text{Sp}E$ si stabilizza, mentre è validata se è confinata entro un valore massimo che rappresenta l'Errore sperimentale e la precisione dei modelli rispettano la perturbazione dovuta al rumore e ad altri fattori regolati da fenomeni stocastici.

$n_o, t_o / M\text{Sp}E_k(t_s, n_s) < M\text{Sp}E_k(t_o, n_o) \forall t_s > t_o \forall n_s > n_o \Rightarrow V\&V$ c'est bon

$n_s, t_s / \frac{2 \lambda_{\alpha, n_s} \sqrt{M\text{Sp}E_k(t_s, n_s)}}{\text{Gnz}(Y_{mk}(t, n_s))} < DT_s \forall t > t_s \forall n_s > n_o \Rightarrow$ le simulateur la tolérance souhaitée

$$\text{Gnz}(x) = \begin{cases} x < 0 & 0 \\ x = 0 & 1 \end{cases}$$

n_s nombre de répétitions qui satisfont à la tolérance souhaitée

t_s Durée de simulation conforme à la tolérance souhaitée

DT Tolérance souhaitée exprimée en pourcentage de la valeur Y_k

pas de nombre optimal d'exécutions répliquées

à la durée optimale de la simulation

n_u nombre de répétitions utilisées pour l'expérimentation

voire durée de simulation pour l'expérimentation

λ_{α} le percentile avec α signification souhaitée obtenu à partir d'une distribution t-student bilatérale et de degrés de liberté égaux au nombre de répétitions utilisées

V&V Vérification et validation



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

En fait, le MSpE détermine l'erreur expérimentale due uniquement à l'effet des composantes stochastiques et représente par conséquent une mesure de la bande de confiance basée sur l'équation suivante :

$$CBk = \pm \lambda_{\alpha, n_u} \sqrt{MSpE_k(t_u, n_u)}$$

CBk Confidence Band pour k-th Target Function

Dans notre cas, les tests ont été réalisés sur du pétrole brut dispersé en surface et en cas de collision entre deux navires dans la zone interne du port et sur l'utilisation de barrières et d'équipements d'aspiration sur les remorqueurs pour l'évacuer. Les fonctions objectifs sont

Polluant évaporé

Pétrole précipité sur le fond de la mer

Surface maximale de pétrole déversé en mer pendant le scénario

Montant récupéré par les remorqueurs

Cas d'accidents

Cas d'accident Puisqu'il s'agit d'une simulation finale régie par la durée de la mission des remorqueurs pour contrôler la marée noire et l'évacuer, les termes t_s , t_o et t_u font référence au temps nécessaire pour terminer la mission et le MSpE est analysé précisément par rapport au nombre de répétitions, en changeant la graine aléatoire des distributions statistiques utilisées pour les variations météorologiques (ex : vent et autres éléments météorologiques qui changent par rapport à la moyenne, variation des quantités rejetées, etc.). Dans les graphiques MSpE proposés ci-dessous, il est clair que le système se stabilise, confirmant la validité du simulateur.

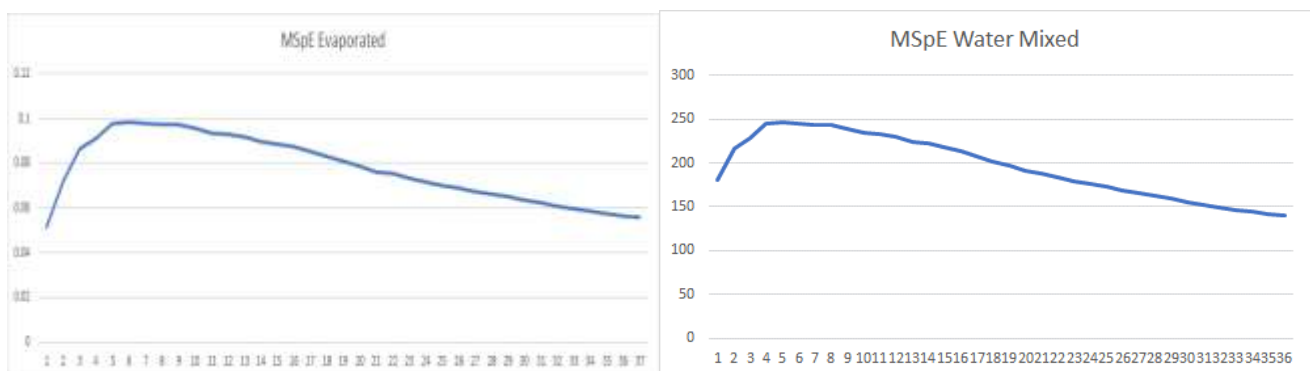


Fig. 3: MSpE pour les contaminants évaporés et les huiles dispersées dans l'eau

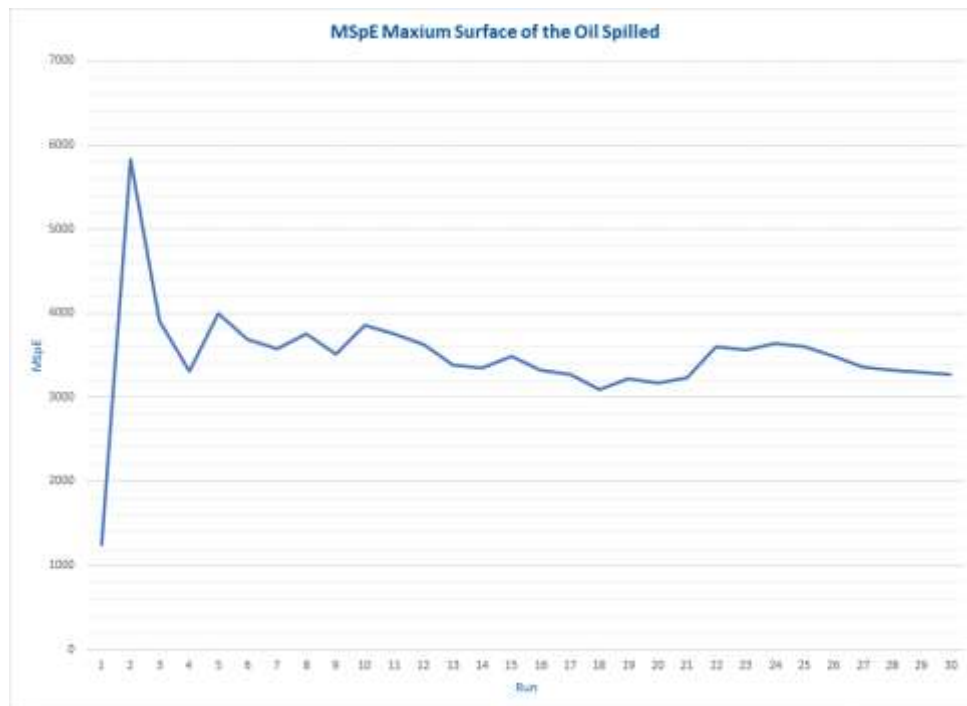


Fig. 4: MsPE par surface maximale d'huile coulée

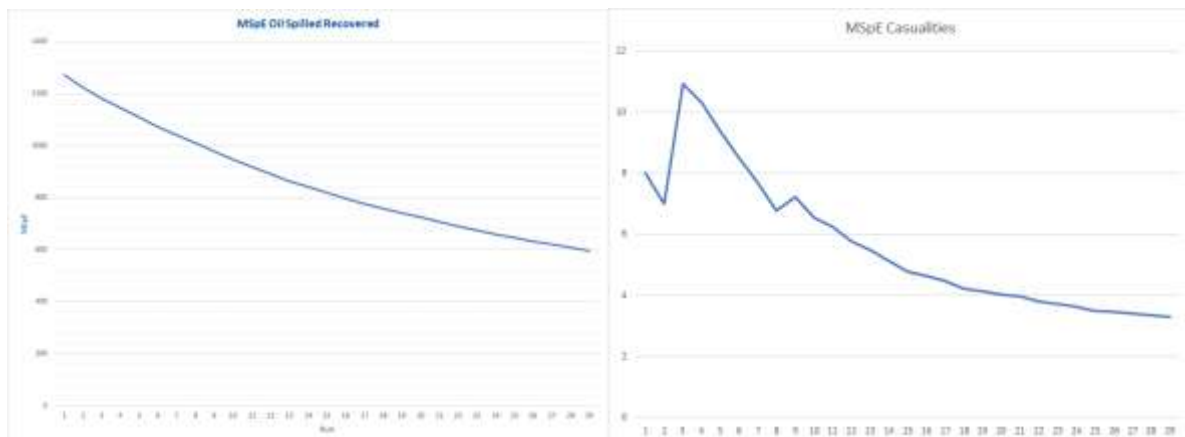


Fig. 5: MsPE pour le pétrole récupéré et le nombre d'accidents



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

Sur la base de ces résultats, un plan composite central (CCD) a été créé avec des exécutions répliquées uniquement au centre et des points factoriels autour par rapport aux variables indépendantes suivantes.

- A : Magnitude du vent
- B : Direction du vent
- C : Quantité du courant marin
- D : Direction du courant marin
- E : Masse de la marée noire

Les expériences ont été menées dans des conditions similaires avec des plages fixes de ces facteurs et le facteur et l'effet ont été calculés avec une analyse de sensibilité pour identifier l'influence de toutes les différentes variables indépendantes ainsi que leurs deuxième et troisième effets.

Les résultats pour différentes fonctions objectives sont proposés ci-dessous

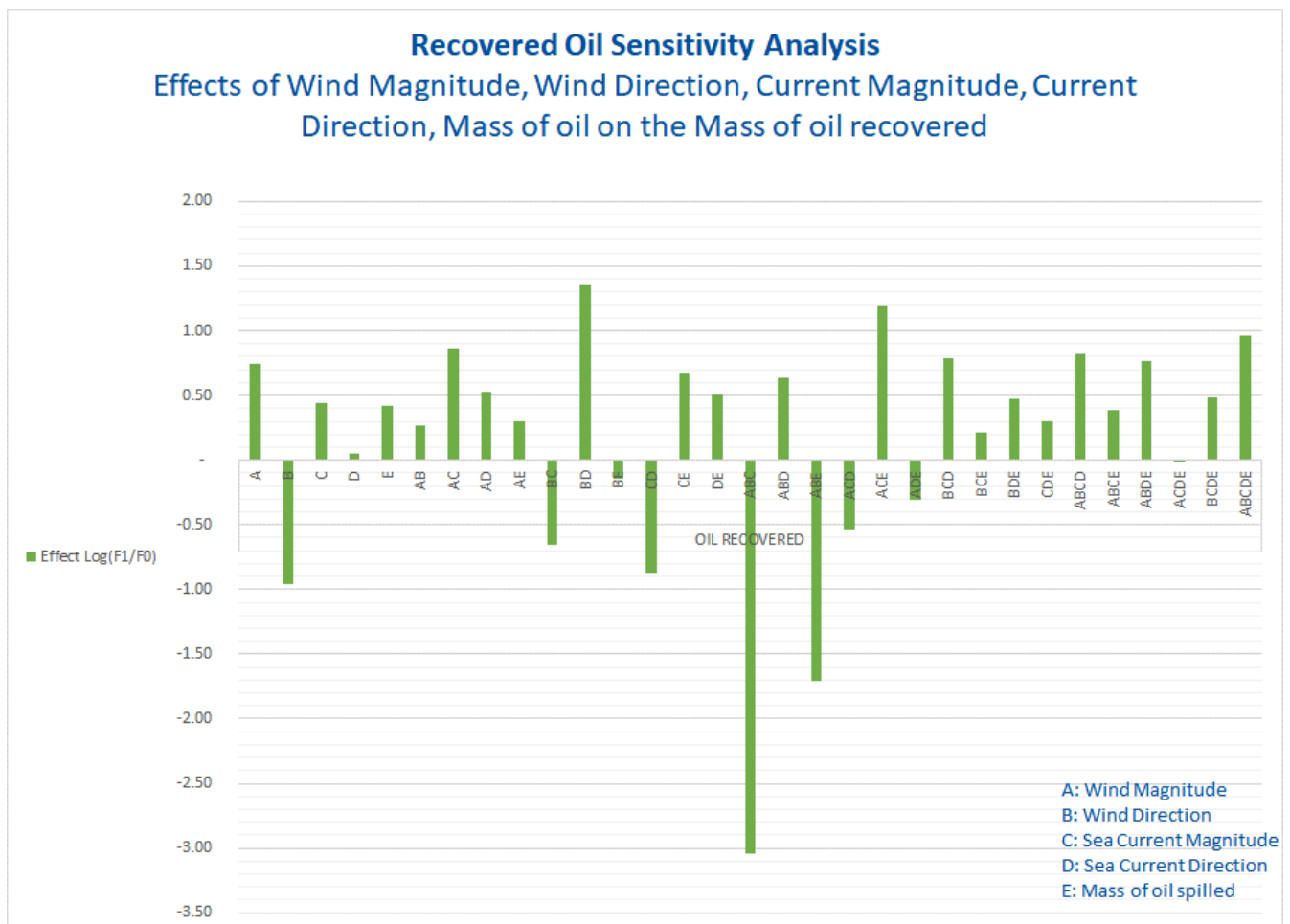


Fig. 6 : Analyse de sensibilité de la masse d'hydrocarbures récupérée par rapport à celle déversée

Ce graphique montre l'analyse de sensibilité de la récupération du pétrole suite à un déversement, basée sur divers facteurs tels que l'ampleur et la direction du vent, le courant marin et sa direction, ainsi que la masse du pétrole déversé. Les barres verticales représentent l'effet ($\log(F_i/F_0)$) de chaque combinaison de variables sur les résultats de la récupération du pétrole.

A (Magnitude du vent) : Le vent a un effet important sur la récupération du pétrole. Cela est logique puisque des vents plus forts peuvent disperser le pétrole plus rapidement et sur des zones plus vastes.

B (direction du vent), C (ampleur du courant marin), D (direction du courant marin), E (masse du déversement d'hydrocarbures) : les barres relativement petites suggèrent que ces variables, prises individuellement, ont moins d'impact sur la récupération du pétrole que à la magnitude du vent.



Interactions entre variables : les barres représentant les interactions entre deux ou plusieurs variables (par exemple AB, AC, etc.) montrent l'effet combiné de ces variables. Par exemple, «AB» représente l'interaction entre l'ampleur et la direction du vent.

AB, AC, AD, AE, etc. : ces barres sont plus longues (à la fois positivement et négativement), ce qui indique que les interactions entre les variables ont un impact significatif sur la récupération du pétrole. Par exemple, la combinaison de la magnitude et de la direction du vent (AB) a un impact significatif.

- L'ampleur du vent est une variable clé qui affecte le succès de la récupération du pétrole.

- Les interactions entre variables, telles que l'ampleur et la direction du vent, la direction du vent et le courant marin, etc., sont cruciales pour comprendre et prédire le comportement des hydrocarbures déversés.

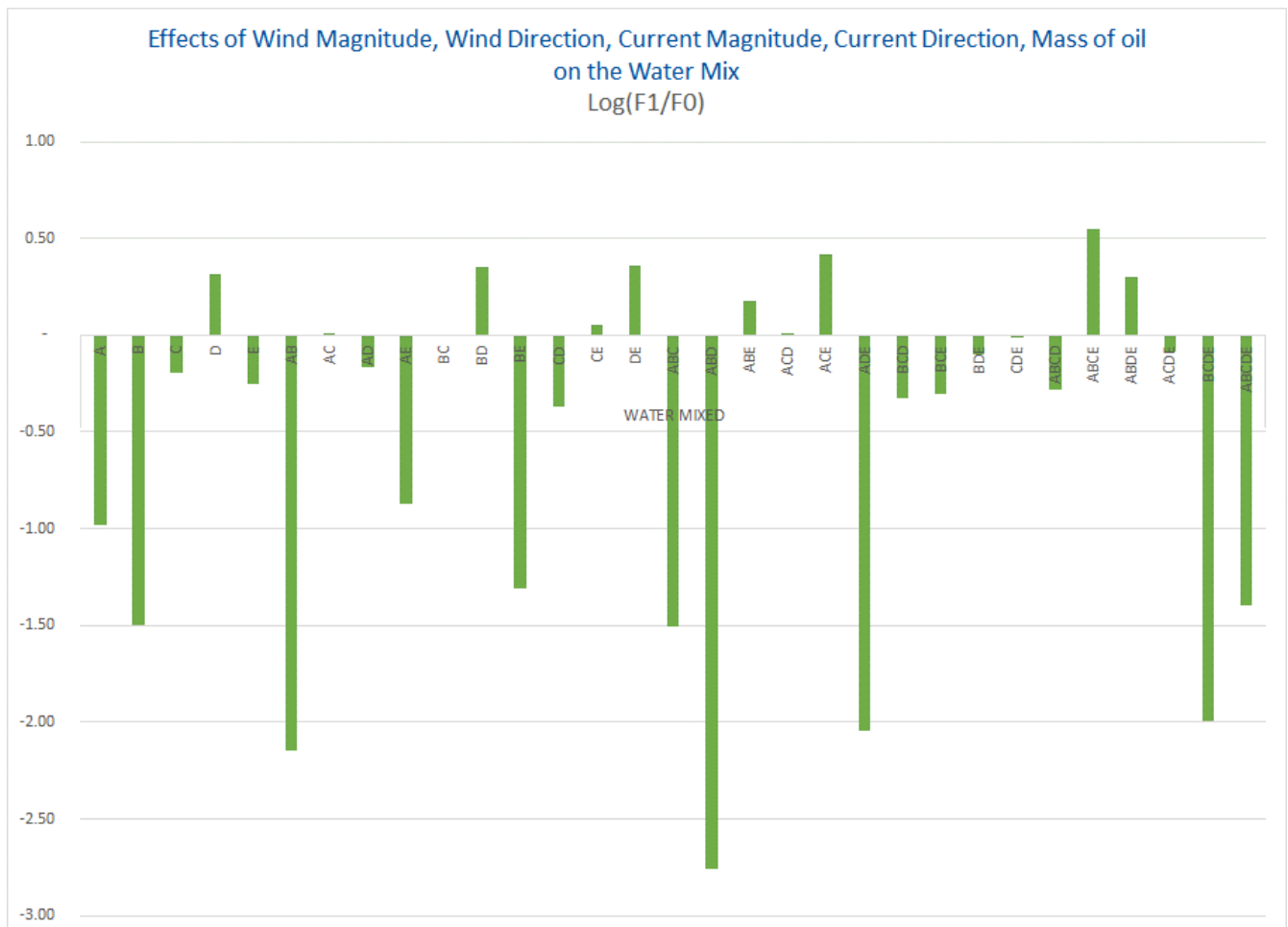


Fig. 7: Analyse de sensibilité pour les huiles dispersées dans l'eau



Ce graphique représente l'analyse de sensibilité concernant l'effet de différentes variables sur le mélange du pétrole avec de l'eau (« Water Mix ») dans un contexte de déversement d'hydrocarbures.

L'effet des variables individuelles semble être relativement faible, avec des barres plus courtes que celles des combinaisons de variables.

BD, CE, DE : Ces combinaisons de variables montrent un impact notable, suggérant que l'interaction entre ces variables affecte de manière significative le mélange du pétrole dans l'eau. Les combinaisons impliquant trois variables montrent que la complexité de l'interaction augmente et que l'effet combiné de ces variables est significatif pour déterminer l'ampleur du mélange du pétrole dans l'eau.

L'analyse suggère qu'une combinaison de facteurs, tels que l'ampleur du vent couplée à l'ampleur et à la direction du courant marin, sont cruciales pour comprendre et prédire l'efficacité du processus de mélange et, par conséquent, les stratégies de confinement et de récupération du pétrole déversé.

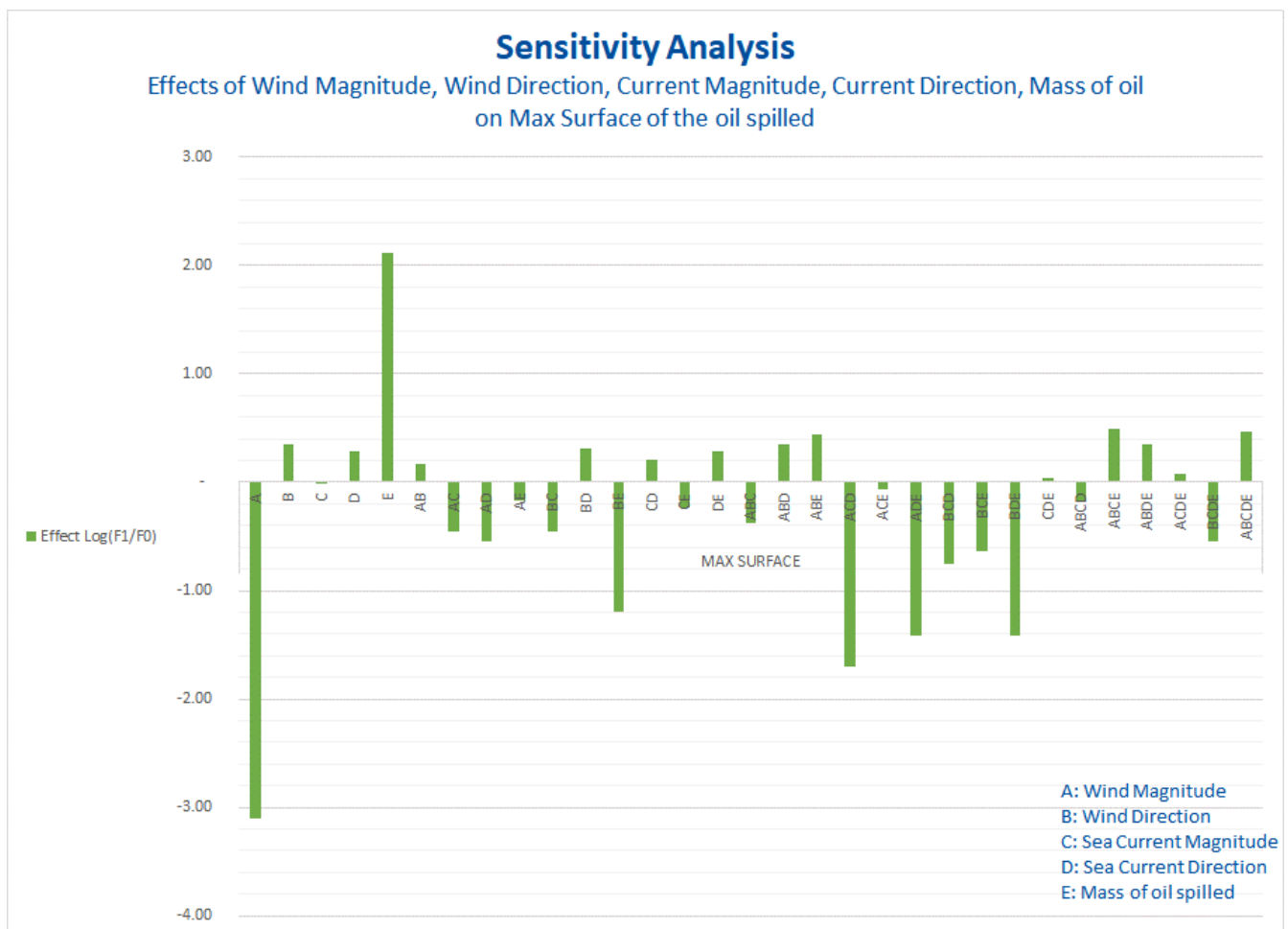


Fig. 8: Analyse de sensibilité pour la surface maximale du pétrole déversé



Ce graphique illustre l'analyse de sensibilité des variables sur la surface maximale de pétrole déversé (« Max Surface »).

La variable E (Masse d'hydrocarbures) a évidemment un impact significatif sur la surface maximale d'hydrocarbure déversé

Les combinaisons avec plus de variables ont tendance à avoir un impact global plus faible sur la surface du pétrole déversé, mais sont toujours importantes pour comprendre l'effet combiné de plusieurs facteurs.

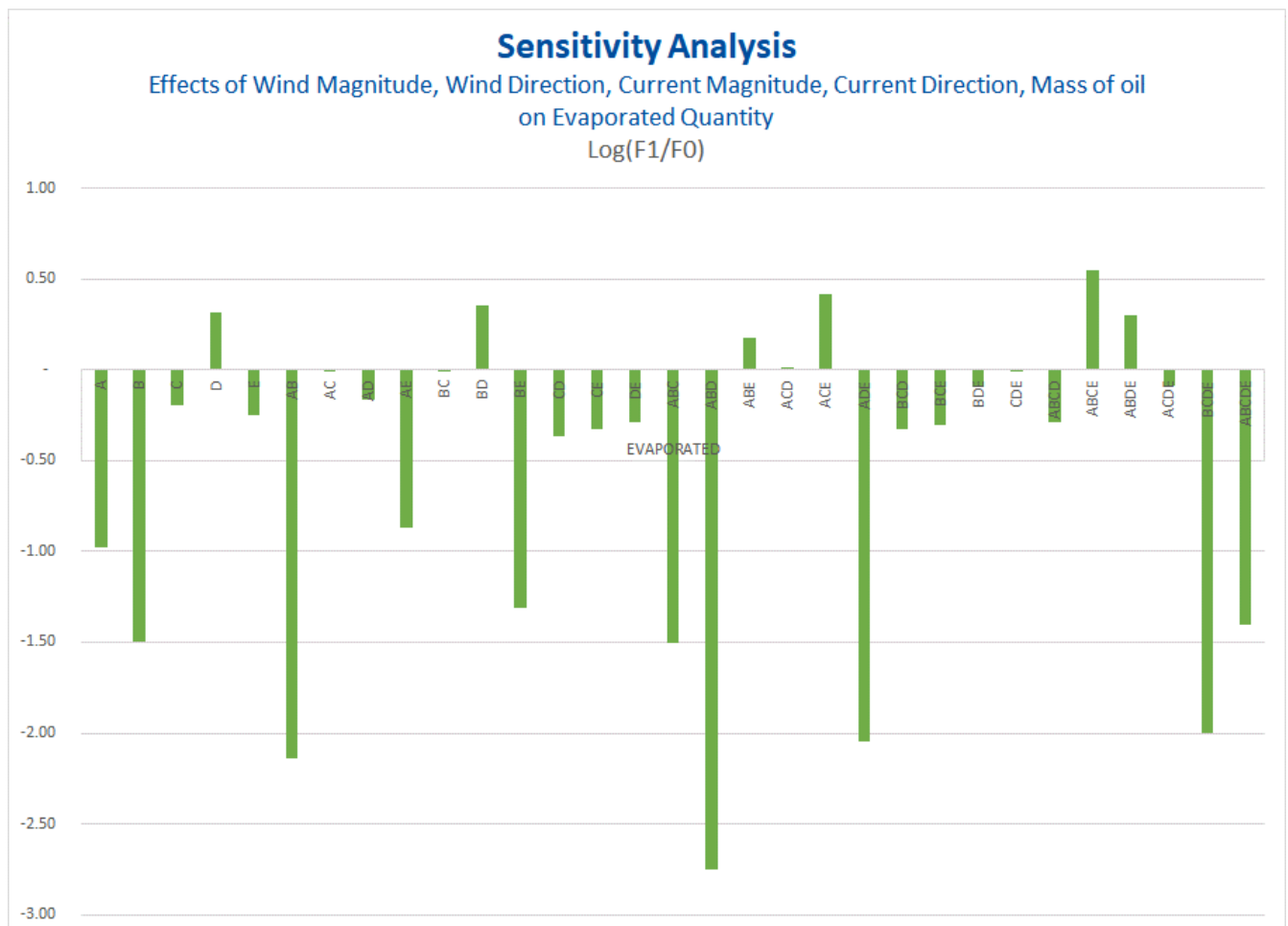


Fig. 9: Analyse de sensibilité à la quantité de contaminant évaporé



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

Ce graphique représente l'analyse de sensibilité des variables sur la quantité évaporée d'hydrocarbures déversés (« Evaporated Quantity »).

L'interaction entre les variables montre des barres plus longues, indiquant un impact plus important sur la quantité évaporée. L'interaction entre ces variables joue un rôle important dans la détermination de la quantité de pétrole qui s'évaporerait. L'évaporation du pétrole est influencée par une combinaison de facteurs, et les interactions entre ces facteurs sont cruciales pour bien comprendre le processus d'évaporation.

Les résultats ont été validés auprès de l'équipe championne d'ALACRES2 qui a confirmé la validité de la simulation. Les simulations ont mis en évidence un déploiement immédiat des barrières de confinement par les remorqueurs, avec un taux de réussite élevé pour limiter la propagation du contaminant. Les équipements d'extraction ont montré une efficacité variable selon les conditions météorologiques. Une formation complémentaire des opérateurs est recommandée pour garantir l'efficacité dans toutes les conditions. La mise en œuvre de modèles prédictifs de dispersion des contaminants a permis d'optimiser l'utilisation des barrières de confinement. Les protocoles d'évaluation de la qualité de l'air et les techniques de surveillance à distance ont fourni des données importantes pour la gestion en temps réel de l'incident.

Analyse COVID-19:

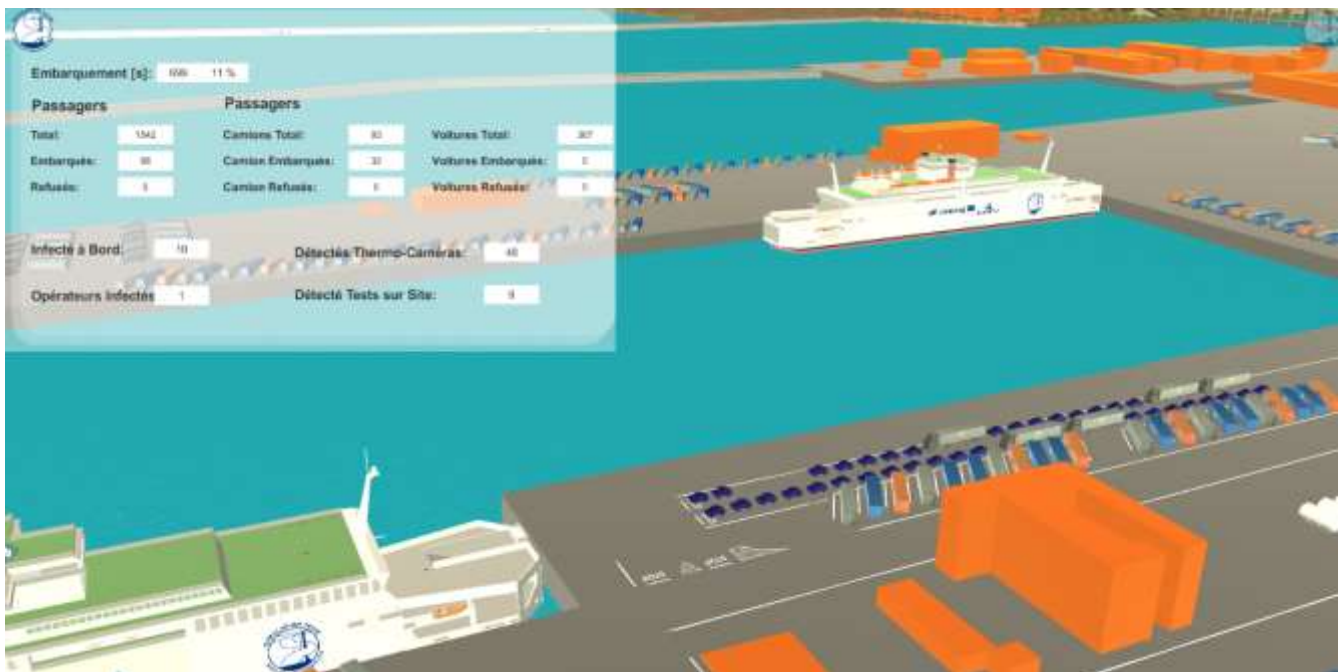


Fig. 10: Simulateur pour la gestion de crise du COVID-19 dans le processus d'embarquement par tag



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Variables d'entrée (facteurs):

Voici les variables que vous avez l'intention de modifier ou de manipuler pour voir comment elles affectent la sortie:

- Écouvillons
- Masques
- Pass vert
- Pré-test
- Caméra thermique

Variables de sortie (réponses):

Voici les résultats que nous avons l'intention de mesurer et d'analyser :

- Nombre de personnes infectées à bord
- Infecté détecté par caméra thermique
- Infecté détecté par écouvillon
- Infectés détectés par pré-test
- Nombre de personnes rejetées

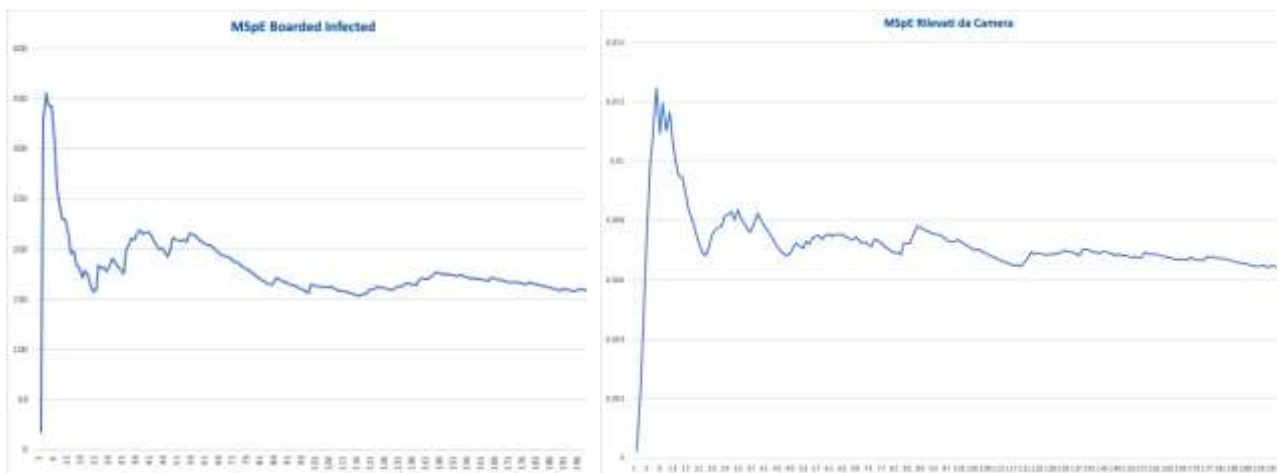


Fig. 11: MSE pour les passagers infectés à l'embarquement détectés par camera



Interreg



UNIONE EUROPEA
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

Chaque barre du graphique représente l'effet logarithmique ($\text{Log}[F1/F0]$) de chaque variable et leurs interactions sur la réponse, en l'occurrence les « Passagers Rejetés ».

Analyse spécifique:

A (écouvillons) : Une barre positive significative suggère que l'utilisation d'écouvillons est efficace pour identifier et repousser les passagers infectés.

C (Green Pass) : Évidemment cette barre nous indique aussi que le contrôle du Green Pass contribue également au refus des passagers infectés. Les barres représentant des combinaisons de variables (par exemple AC, CE, etc.) indiquent l'effet combiné de ces variables.

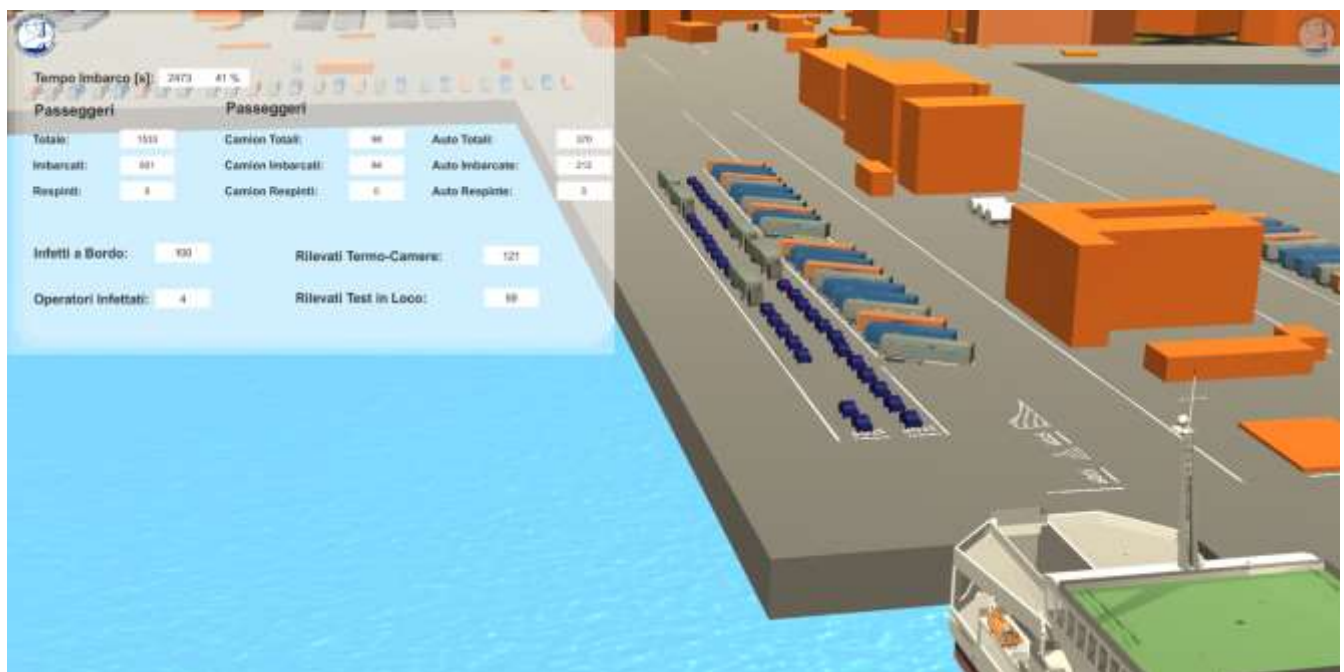


Fig. 14: Image de la zone d'embarquement du ferry et simulation du nombre de personnes infectées et détectées



Interreg



UNION EUROPEENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

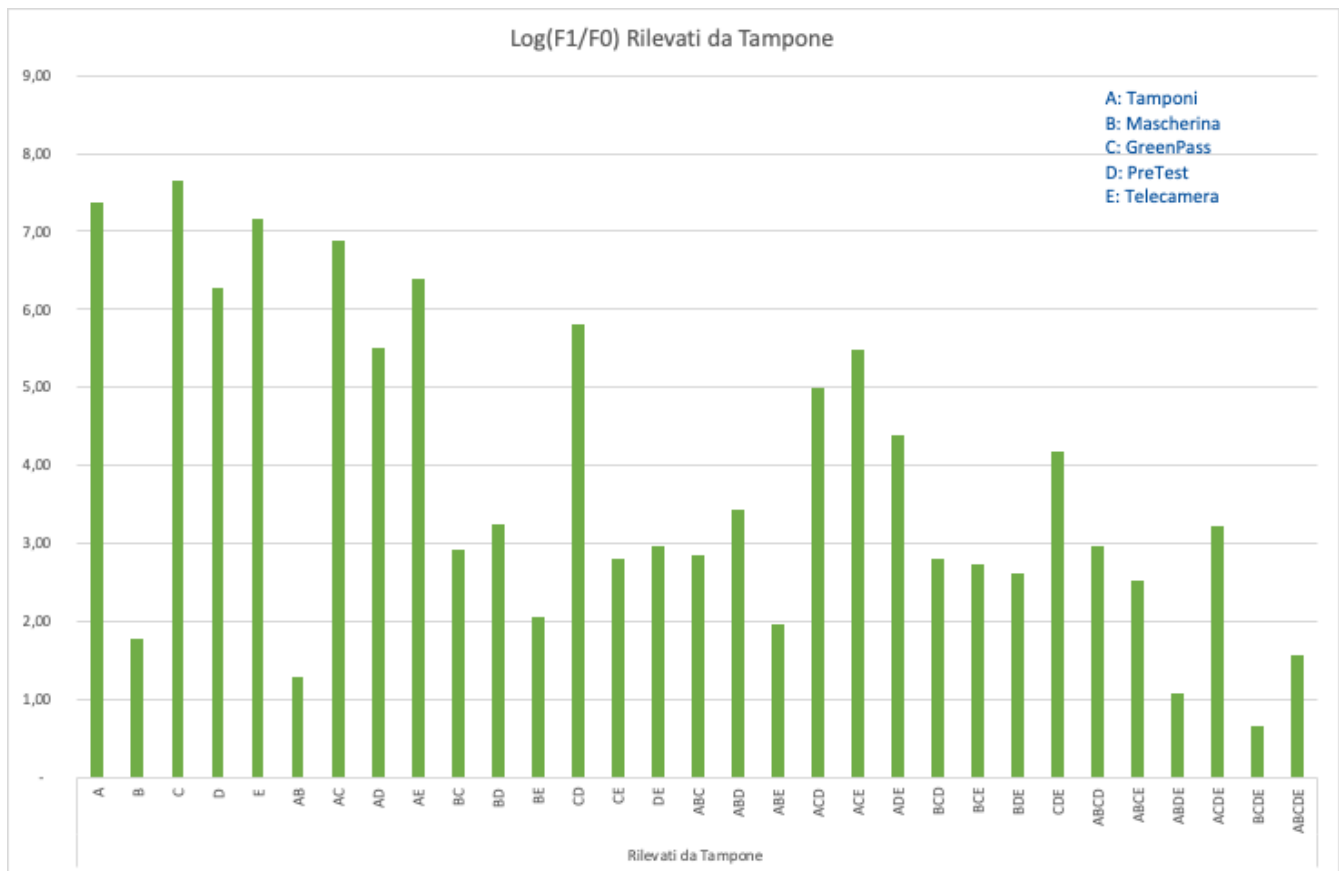


Fig. 15: Analyse de sensibilité des passagers infectés détectés par écouvillonnage

A (écouvillons) : une barre très élevée indique que l'utilisation d'écouvillons à elle seule est très efficace pour détecter les personnes infectées.

Les barres les plus hautes sont principalement associées à la variable « A (écouvillons) » ou à des combinaisons incluant cette variable, soulignant l'importance des écouvillons dans la détection des infections.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



ALACRES-2

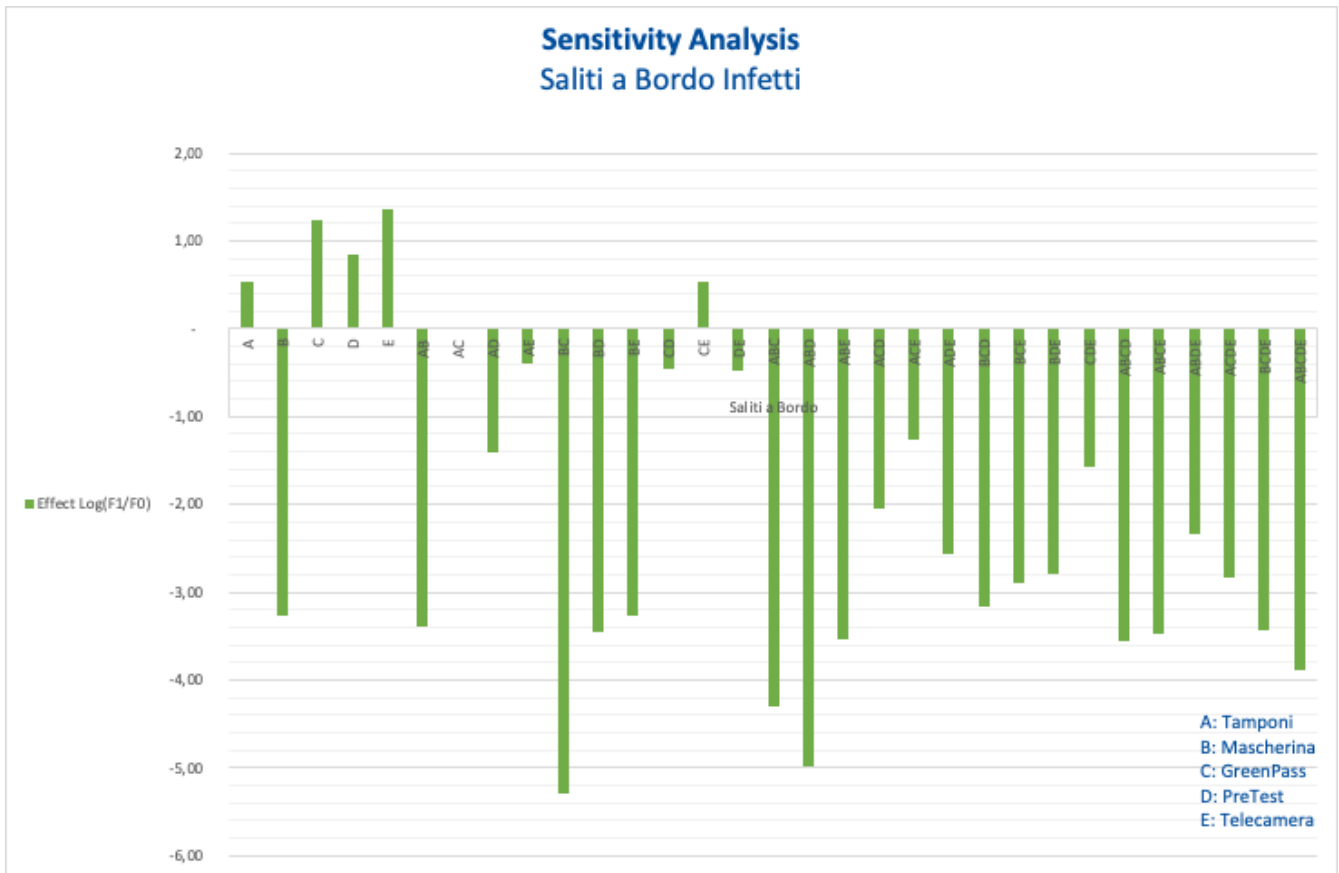


Fig. 16: Analyse de sensibilité des passagers infectés qui ont embarqué

Le graphique montre comment les écouvillons, le laissez-passer vert et le dépistage par chambre thermique et pré-test sont des solutions efficaces pour empêcher les personnes infectées d'entrer à bord.

Tant la simulation de l'évolution et du traitement d'une marée noire en mer que la simulation du contrôle d'accès à bord d'un ferry pour empêcher la propagation du COVID-19 offrent des approches avancées et sophistiquées pour gérer et optimiser les réponses aux situations d'urgence complexes.

L'analyse du plan d'expériences (DoE) a fourni des informations cruciales sur les effets combinés des variables environnementales et opérationnelles sur la diffusion du pétrole et l'efficacité des opérations de récupération. Des variables et interactions clés ont été identifiées qui influencent considérablement le succès des interventions, permettant une planification et une réponse plus éclairées et adaptatives en cas d'incidents futurs.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



La simulation d'embarquement nous a permis d'évaluer l'efficacité de différents protocoles de dépistage pour prévenir la propagation du COVID-19 lors du voyage en ferry. L'analyse a souligné l'importance de combiner plusieurs méthodes de contrôle, telles que les écouvillons, les contrôles de température et la vérification du Green Pass, pour minimiser le risque d'embarquement de passagers infectés et ainsi limiter la propagation possible du virus à bord.

Les deux simulations montrent l'importance d'utiliser des approches multivariées et d'analyser les interactions entre variables pour améliorer la compréhension et la gestion des urgences. Les résultats obtenus peuvent guider l'optimisation des protocoles et des stratégies opérationnelles, favorisant une réponse plus efficace et plus résiliente dans les contextes maritimes tant en ce qui concerne la protection de l'environnement que la sécurité et le bien-être des passagers et du personnel à bord. L'intégration des enseignements tirés et l'adaptation continue des stratégies basées sur les résultats des simulations sont essentielles pour réussir à relever les défis dynamiques et multifactoriels posés par ces situations d'urgence.

Bibliographie

Box, G. E., & Hunter, J. S. (1957). Multi-factor experimental designs for exploring response surfaces. *The Annals of Mathematical Statistics*, 195-241.

Bruzzone, A. G., Vairo, T., Cepolina, E. M., Massei, M., De Paoli, A., Ferrari, R., et al. (2022, October). Cooperative Use of Autonomous Systems to Monitor Toxic Industrial Materials and Face Accidents & Contamination Crises. In *International Conference on Modelling and Simulation for Autonomous Systems* (pp. 231-242). Cham: Springer International Publishing.

Bruzzone, A. G., Massei, M., Sinelshchikov, K., Tarone, F., Vairo, T., Magrì, S. et al. (2021). Improving Safety in Ports & Harbor Facilities by MS2G.

Bruzzone, A., Massei, M., Longo, F., Di Matteo, R., & Sinelshchikov, K. (2018, October). Learning decision making processes at strategic level based on VR & augmented reality. In *Workshop on Applied Modelling & Simulation* (p. 56).

Bruzzone, A., Longo, F., Massei, M., Nicoletti, L., Agresta, M., Di Matteo, R., et al. (2016). Disasters and emergency management in chemical and industrial plants: drones simulation for education and training. In *Modelling and Simulation for Autonomous Systems: Third International Workshop, MESAS 2016, Rome, Italy, June 15-16, 2016, Revised Selected Papers 3* (pp. 301-308). Springer International Publishing.

Bruzzone, A. G., Massei, M., Poggi, S., Bartolucci, C., & Ferrando, A. (2015). Intelligent agents for human behavior modeling as support to operations. In *Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications: International Conference, SIMULTECH 2013 Reykjavík, Iceland, July 29-31, 2013 Revised Selected Papers* (pp. 119-132). Springer International Publishing.

Bruzzone, A. G., & Williams, E. (2005). Summer Computer Simulation Conference. SCS, San Diego, 470.

Bruzzone, A. G., Mosca, R. et al. (2000). Risk analysis in harbor environments using simulation. Safety science, 35(1-3), 75-86.

Bruzzone, A. G., Giribone, P., & Mosca, R. (1996). Simulation of hazardous material fallout for emergency management during accidents. Simulation, 66(6), 343-356.

Draper, N. R., & Pukelsheim, F. (1996). An overview of design of experiments. Statistical Papers, 37, 1-32.

Draper, N. R., & Pukelsheim, F. (1996). An overview of design of experiments. Statistical Papers, 37, 1-32.

Giribone, P., Bruzzone, A. G., & Caddeo, S. (1995). Oil spills and AI: how to manage resources through simulation (No. CONF-9505224-). The International Emergency Management and Engineering Society, Dallas, TX (United States).

Montgomery D.C. (2000) "Design and Analysis of Experiments", John Wiley & Sons, New York

Spiegel M.R., Schiller L.J.(1999) " Statistics", McGraw Hill, NYC